

# Aplicación del análisis de sistemas a las ciudades y al transporte público urbano



**Innovación ambiental de servicios urbanos y de infraestructura: Hacia una economía baja en carbono**



NACIONES UNIDAS

CEPAL



# **Aplicación del análisis de sistemas a las ciudades y al transporte público urbano**

**Innovación ambiental de servicios  
urbanos y de infraestructura:  
Hacia una economía baja en carbono**

**Martin Schaffernicht**



Este documento fue preparado por Martin Schaffernicht, consultor de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), en el marco del proyecto “Innovación ambiental de servicios urbanos y de infraestructura: Hacia una economía baja en carbono” (AEC/09/004) y financiado por la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID).

El estudio fue coordinado por Joseluis Samaniego, Director de la División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos de la CEPAL, y Ricardo Jordán, Oficial de Asuntos Económicos de la misma División.

Las opiniones expresadas en este documento, que no ha sido sometido a revisión editorial, son de exclusiva responsabilidad del autor y pueden no coincidir con las de la organización.

## Índice

Introducción.....	7
I. Los servicios urbanos verdes en el mundo y las metrópolis latinoamericanas .....	9
II. Metodología: la dinámica de sistemas en el contexto de las ciudades .....	11
A. Dinámica de sistemas.....	11
B. Dinámica urbana.....	15
III. Estructura de la interdependencia entre uso del suelo e infraestructura de transporte .....	17
A. Estructura general.....	17
B. Desarrollo de vías .....	20
C. Uso del suelo .....	27
D. Población .....	33
E. Modos de transporte.....	35
F. Los viajes .....	43
G. Las emisiones .....	53
H. Costos de construcción .....	56
I. El empleo .....	59
J. Los vehículos .....	60
K. El dinero .....	63
L. Gastos de transporte .....	66
M. Expansión del área urbana.....	69
N. El metro.....	71
IV. Recomendaciones para una gestión estratégica del transporte urbano .....	73
A. Flujos de personas entre la ciudad y su entorno .....	73
B. El conflicto entre el corto y el largo plazo .....	74
C. La interdependencia .....	76
D. El atractivo relativo y su dinámica.....	82
E. Recomendaciones .....	87
V. Estado actual y pasos futuros .....	89
A. Logros del estudio: construcción de una hipótesis dinámica .....	89
Bibliografía .....	91

Anexo: elementos clave del modelo por tipo .....	93
Anexo 1: Acumulaciones .....	94
Anexo 2: Parámetros .....	97
Anexo 3: Table functions .....	102

## Índice de cuadros

Cuadro II.1	SÍMBOLOS DE LOS DIAGRAMAS EN DINÁMICA DE SISTEMAS .....	12
Cuadro III.1	TIPOS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE .....	20
Cuadro III.2	TIPOS DE OCUPACIÓN DEL SUELO .....	20
Cuadro III.3	ECUACIONES DEL SECTOR DESARROLLO DE VÍAS .....	23
Cuadro III.4	ECUACIONES DEL SECTOR USO DEL SUELO .....	29
Cuadro III.5	ECUACIONES DEL SECTOR POBLACIÓN .....	34
Cuadro III.6	ECUACIONES DEL SECTOR MODOS DE TRANSPORTE .....	40
Cuadro III.7	ECUACIONES DEL SECTOR VIAJES .....	50
Cuadro III.8	ECUACIONES RELACIONADAS CON LAS EMISIONES .....	55
Cuadro III.9	ECUACIONES DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN .....	57
Cuadro III.10	ECUACIONES RELACIONADAS CON EL EMPLEO .....	59
Cuadro III.11	ECUACIONES RELACIONADAS CON LOS VEHÍCULOS .....	62
Cuadro III.12	ECUACIONES DE COSTOS .....	65
Cuadro III.13	ECUACIONES DE GASTOS DE TRANSPORTE .....	67
Cuadro III.14	ECUACIONES RELACIONADAS CON LA EXPANSIÓN DEL ÁREA URBANA .....	69
Cuadro III.15	ECUACIONES RELACIONADAS CON EL METRO .....	72
Cuadro IV.1	TIPOS DE INFRAESTRUCTURA .....	74
Cuadro IV.2	LAS VARIABLES DE DECISIÓN Y SUS PRINCIPALES EFECTOS .....	78
Cuadro IV.3	VARIABLES DE DECISIÓN RELACIONADAS CON EL USO DEL SUELO .....	79
Cuadro IV.4	FUENTES DE INFLUENCIA .....	80
Cuadro IV.5	VARIABLES INFLUENCIADAS Y VELOCIDAD .....	81
Cuadro V.1	MODELO CONCEPTUAL .....	89

## Índice de diagramas

Diagrama II.1	LOS DOS BUCLES DE APRENDIZAJE DEL MODELADO .....	13
Diagrama II.2	ITERACIONES ENTRE MODELO MENTAL Y MODELO DE SIMULACIÓN ...	14
Diagrama II.3	AL JUGAR NO SE DESARROLLA EL MODELO MENTAL .....	15
Diagrama II.4	PROCESO DE TRABAJO .....	16
Diagrama III.1	BUCLES CAUSALES DEL MODELO MENTAL INICIAL .....	18
Diagrama III.2	SECTORES O “PERSPECTIVAS” DEL MODELO .....	19
Diagrama III.3	FRAGMENTO DEL MODELO: AUTOPISTAS URBANAS .....	20
Diagrama III.4	LA SUPERFICIE TOTAL PERMANECE CONSTANTE .....	21
Diagrama III.5	EL SECTOR DESARROLLO DE VÍAS .....	22
Diagrama III.6	LA DINÁMICA DEL USO DEL SUELO .....	28
Diagrama III.7	EL SECTOR DE POBLACIÓN .....	33
Diagrama III.8	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 1 .....	36
Diagrama III.9	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 2 .....	36
Diagrama III.10	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 3 .....	37
Diagrama III.11	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 4 .....	38
Diagrama III.12	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 5 .....	38
Diagrama III.13	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 6 .....	39
Diagrama III.14	SECTOR MODOS DE TRANSPORTE – RESUMEN .....	40
Diagrama III.15	NÚMERO DE VIAJES DIARIOS, POR ESTRATO .....	44
Diagrama III.16	DETERMINACIÓN DE MODOS DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO DE CADA ESTRATO .....	44

Diagrama III.17	VIAJES EN MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO .....	45
Diagrama III.18	VIAJES EN MODOS DE TRANSPORTE PRIVADO.....	46
Diagrama III.19	TRANSPORTE TOTAL.....	47
Diagrama III.20	DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES .....	48
Diagrama III.21	DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL TIEMPO DESTINADO A TRANSPORTE.....	48
Diagrama III.22	EL SECTOR DE VIAJES DE TRANSPORTE .....	49
Diagrama III.23	EMISIONES RELACIONADAS CON ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN....	54
Diagrama III.24	COSTO DE LAS EMISIONES .....	54
Diagrama III.25	COSTOS DE CONSTRUCCIÓN .....	57
Diagrama III.26	TIPOS DE EMPLEO .....	59
Diagrama III.27	LOS AUTOBUSES.....	61
Diagrama III.28	TRANSFERENCIAS DE DINERO .....	64
Diagrama III.29	PERCEPCIÓN DEL GASTO DE TRANSPORTE.....	66
Diagrama III.30	FACTORES QUE INFLUYEN EN EL GASTO DE TRANSPORTE .....	67
Diagrama III.31	LA DINÁMICA EXPANSIVA DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS .....	69
Diagrama III.32	DESARROLLO DEL METRO .....	71
Diagrama IV.1	BUCLE COMPENSADOR DE RETROALIMENTACIÓN PARA MANTENER LA CONGESTIÓN BAJO CONTROL.....	75
Diagrama IV.2	BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN REFORZADOR DEL EFECTO COLATERAL .....	75
Diagrama IV.3	BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN COMPENSADOR PARA CONTROLAR LA CAUSA DEL PROBLEMA .....	76
Diagrama IV.4	BUCLE COMPENSADOR 1 – MÁS USO, MÁS LENTITUD .....	82
Diagrama IV.5	BUCLE REFORZADOR 1 - MÁS USUARIOS, MÁS LENTITUD .....	83
Diagrama IV.6	BUCLE COMPENSADOR 2 - MAYOR DISTANCIA, MÁS TIEMPO .....	83
Diagrama IV.7	MÁS USO, MÁS LENTITUD .....	84
Diagrama IV.8	BUCLE REFORZADOR 2 - MÁS USUARIOS, MÁS LENTITUD .....	85
Diagrama IV.9	BUCLE COMPENSADOR 4 - MÁS SATURACIÓN, MENOS ATRACTIVO.....	85
Diagrama IV.10	LOS SEIS BUCLES INTERDEPENDIENTES EN TORNO AL ATRACTIVO RELATIVO DEL TRANSPORTE PÚBLICO .....	86





## Introducción

El presente modelo de dinámica de sistemas surge a partir de la exploración de una pregunta en que se vincula a diferentes elementos del sistema “ciudad”. De esta manera, “sistema” se refiere a un conjunto de componentes interrelacionados. La interrogante que dio origen a este trabajo fue la siguiente: ¿cómo influir en la transformación del transporte urbano para reducir las emisiones sin generar efectos colaterales negativos en otros sistemas urbanos?

Se desarrolló un modelo que contiene los procesos relevantes de diversos subsistemas urbanos y las interdependencias entre sí, con el propósito de formular y evaluar comparativamente distintas estrategias de influencia, en el contexto de la controversia sobre densificación o extensión.

El modelo resultante trata de los grandes agregados de los diferentes tipos de vías y otros usos del suelo, de los medios de transporte y del modo en que las personas realizan sus viajes de una manera “macro”. A estas alturas de las indagaciones, ello responde a la necesidad de elaborar un vistazo panorámico que permita relacionar adecuadamente los diferentes subsistemas y desde una perspectiva dinámica.

El presente informe comienza con una recapitulación de los rasgos importantes y tendencias de los servicios urbanos verdes en ciertos lugares del mundo y el desarrollo de las grandes ciudades latinoamericanas. En seguida, se presenta la metodología de la dinámica de sistemas y su aplicación en este proyecto, para luego introducir la estructura causal del modelo con sus diferentes módulos. Finalmente, se elabora un balance de la situación actual que contiene una propuesta para futuros trabajos.





## I. Los servicios urbanos verdes en el mundo y las metrópolis latinoamericanas

En varias ciudades de diferentes países se han diseñado e implementado políticas orientadas a reducir la huella ecológica. Según el informe “Servicios urbanos y de infraestructura bajos en carbono – énfasis en transporte: revisión de la experiencia internacional”, habría que aumentar el costo (en dinero y en tiempo) del transporte motorizado privado para favorecer el uso del transporte público, apuntando a reducir sus costos para los usuarios. En este estudio también se reconoce la importancia de construir barrios con edificios destinados a diferentes actividades como vivienda, trabajo y comercio, lo que contribuiría a disminuir la movilidad urbana en las ciudades.

El informe antes citado presenta un cierto contraste con las tendencias señaladas en *Regional panorama, Latin America: megacities and sustainability* (UN - ECLAC, 2010), que contiene un análisis de seis mega ciudades de América Latina: Bogotá, Buenos Aires, Ciudad de México, Lima, São Paulo y Santiago de Chile. Estas se caracterizan por un marcado crecimiento de la población y, como consecuencia, de su superficie urbana. También muestran una tendencia a la segregación de los diferentes sectores socioeconómicos y una preferencia elevada por el transporte motorizado privado. En este sentido, se siguen mejorando las condiciones de infraestructura para el transporte privado (autopistas urbanas), no obstante en varias ciudades hay grandes proyectos de transporte público.

En estas condiciones, continúa debatiéndose si las ciudades deberían tornarse más densas o más extensas. Al respecto, hay muchas posibilidades para quienes deseen influir en la reducción de la huella ecológica de las ciudades sin generar efectos colaterales negativos en el desarrollo económico y social. Entre ellas, cabe destacar las siguientes:

- mejorar las condiciones del transporte no motorizado mediante la expansión de infraestructura como las ciclovías y las zonas peatonales;
- mejorar las condiciones del transporte público mediante la ampliación del metro y de las vías segregadas;
- tener más autobuses y aumentar la frecuencia de los viajes;
- aumentar o disminuir el número de autopistas urbanas y los espacios de estacionamiento;

- aumentar la cantidad de áreas verdes;
- aumentar los cobros por el uso de calles y autopistas urbanas.

Cada una de estas posibles intervenciones afecta a los diferentes subsistemas de la ciudad, ya que tales acciones tienen costos y también generan emisiones de gases de efecto invernadero. Además, provocan cambios en las condiciones de circulación, los viajes, los modos de transporte e incluso el uso de los ingresos y tienen un efecto multiplicador en la actividad económica y los ingresos.

En este sentido, para evaluar las consecuencias favorables y desfavorables que puede generar cualquier modificación del sistema, se requiere de una herramienta capaz de articular los diversos efectos colaterales y compararlos. Esto es precisamente lo que se busca mediante el desarrollo de un modelo de dinámica de sistemas.

## **II. Metodología: la dinámica de sistemas en el contexto de las ciudades**

### **A. Dinámica de sistemas**

Desde los años cincuenta del siglo XX se ha desarrollado una disciplina llamada dinámica de sistemas como metodología para diseñar políticas de decisión, en respuesta a dos preocupaciones:

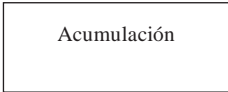
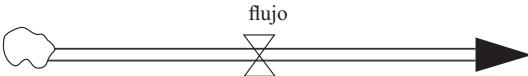



- El componente fundamental de los sistemas sociales es el bucle o ciclo de retroalimentación. Todo sistema social es inherentemente dinámico y las decisiones adoptadas en un momento dado, al influir en el sistema, cambian las condiciones en que se decidirá en el futuro. Dentro de los ciclos, encontramos acumulaciones de determinados “recursos” y procesos de flujo que provocan cambios en las acumulaciones y que a la vez dependen de ellas. Por lo tanto, las herramientas utilizadas para diseñar políticas de decisión deben tomar en cuenta estos círculos o bucles.
- Las nuevas políticas de decisión que intervienen en sistemas sociales complejos necesitan un “laboratorio de pruebas”. El modelado de simulación computacional puede permitirlo.

Entonces, la dinámica de sistemas propone un proceso de modelado que conduce a formular y mejorar los modelos mentales hasta disponer de un modelo de simulación que reproduce las conductas conocidas (históricas) del sistema de referencia y en cuyas estructuras causales se guarda una coherencia lógica entre el “sistema” y el modelo.

Como se ilustra en el cuadro II.1, hay un lenguaje diagramático que consiste en cuatro bloques de construcción.

## CUADRO II.1

### SÍMBOLOS DE LOS DIAGRAMAS EN DINÁMICA DE SISTEMAS

la acumulación	
el flujo	
la variable intermedia o auxiliar	variable auxiliar
el flujo de información o vínculo causal	  

Fuente: Elaboración propia.

Detrás de los diagramas se formulan ecuaciones de diferencia en que las acumulaciones corresponden a la integración de los flujos vinculados a ellas. Este desarrollo de ecuaciones se realiza mediante el programa informático de modelado y permite la simulación.

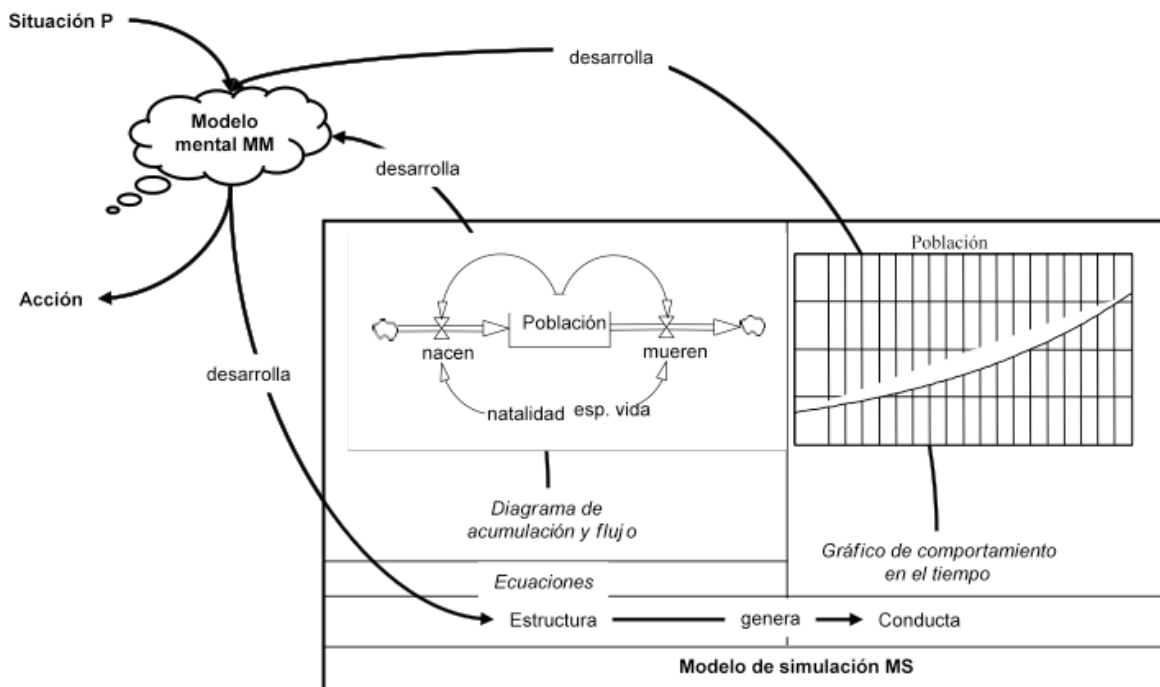
Como parte de las premisas del modelado en dinámica de sistemas se acepta que, en general, una solución analítica no es alcanzable. Por ello se usa la simulación numérica: se prefiere la fidelidad con la estructura del problema por sobre la posibilidad de solución analítica. También se supone que una parte significativa de la información relevante es de dominio de los expertos y que no está registrada en bases de datos; así, se plantea que ante la inexistencia de datos estadísticamente robustos es recomendable trabajar con datos menos robustos en vez de dejar fuera del modelo alguna variable que los expertos consideran importante. La incertidumbre resultante se resuelve mediante las pruebas de sensibilidad: si las variaciones de variables “difusas” respecto del rango imaginable no conducen a diferencias significativas en el comportamiento del modelo, entonces se concluye que esta incertidumbre no es lo suficientemente relevante como para justificar la inversión de recursos adicionales (dinero y tiempo) para lograr datos menos imprecisos.

A continuación se describe cómo el modelado de simulación conduce al aprendizaje. Los juicios y el proceso de toma de decisiones de los humanos se basan en modelos mentales, de manera que el desafío del aprendizaje es desarrollar un modelo mental suficientemente detallado, preciso, coherente y consciente. El proceso pleno de modelado se sustenta en dos bucles de mejoramiento del modelo mental. El primero opera mediante la estructuración del problema que se desarrolla durante el trabajo de diagramar las variables y sus vínculos causales, mientras que el segundo utiliza la simulación para reproducir las consecuencias del comportamiento de esta estructura a fin de generar “sorpresas”, es decir, mostrar al modelador cuándo y dónde el modelo mental aún requiere de ajustes.

Ambos bucles de aprendizaje se representan en el diagrama II.1. Al respecto, véanse también Lane (2008) y Schaffernicht (2010).

## DIAGRAMA II.1

### LOS DOS BUCLES DE APRENDIZAJE DEL MODELADO



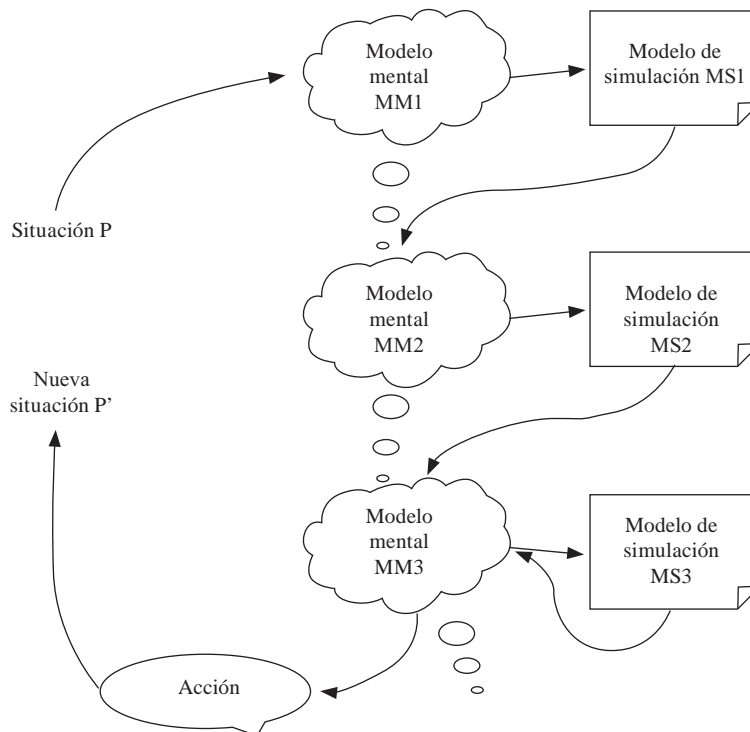
Fuente: Martin Schaffernicht, “Causal loop diagrams as means to improve the understanding of dynamic problems: a critical analysis”, en *Systems Research and Behavioral Science*, Vol. 27, N° 6, págs. 653–666, 2010.

Quien empieza a modelar la situación P, rápidamente llegará a tener un primer modelo mental de la situación MM(P): el mero hecho de crear el diagrama de acumuladores y flujos con ecuaciones tentativas —o “representaciones externas del conocimiento” (Stoyanov, 1997)— afirma que estas tienen efectos de aprendizaje, principalmente “la clarificación o ampliación de la comprensión conceptual que el modelador tiene del espacio del problema” (Baylor, Lee y Nelson, 2005). Sin embargo, en dinámica de sistemas el modelo es más que un diagrama estático y la confrontación con las consecuencias dinámicas del modelo mental se convierte en un poderoso buscador de errores mentales.

En efecto, el modelador llegará a tener un modelo mental que según cree es capaz de regenerar las conductas de referencia. Sin embargo, la prueba de la simulación producirá sorpresas y forzará a reformular partes del modelo mental, incorporarlas al modelo de simulación y probarlo nuevamente. La secuencia resultante de iteraciones se ha ilustrado en el diagrama II.2.

## DIAGRAMA II.2

### ITERACIONES ENTRE MODELO MENTAL Y MODELO DE SIMULACIÓN



Fuente: Martin Schaffernicht, “Learning from rediscovering system dynamics models”, en *Systèmes d’Information et Management*, Vol. 14, N° 4, págs. 87-105, 2009.

La problemática o desafío se representa primero mediante el modelo mental 1 (MM1), que con frecuencia será la “hipótesis dinámica” antes mencionada. Luego se inicia un proceso iterativo de formulación del modelo de simulación. La interacción con el modelo de simulación 1 (MS1) conduce a reformular las ideas y a articular una nueva versión del modelo mental. En el diagrama II.2, el proceso llega a un fin provisorio después de la tercera versión de los modelos mental y de simulación, suponiendo —para no alargar la ilustración— que no quedan contradicciones. Ahora, una acción es derivada desde el modelo mental y así la situación inicial se convierte en una nueva situación. A su vez, esto puede originar una nueva ronda de modelado.

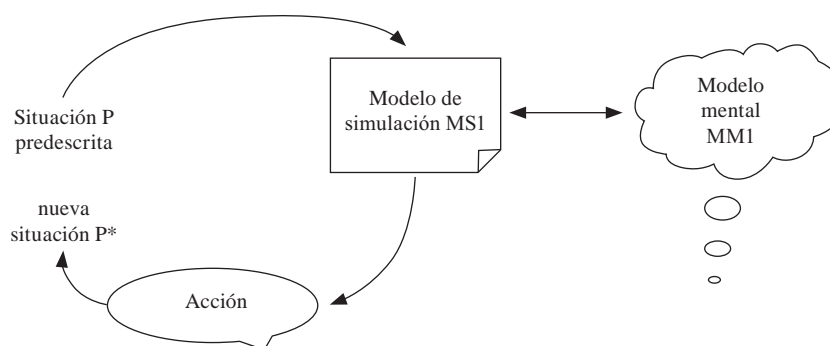
Normalmente, el proceso de modelado se divide en las fases de conceptualización, cuantificación y luego validación del modelo (Stermán y Stermán, 2000). Por cierto, el límite entre formulación y validación es más bien difuso en la práctica: el modelador necesita la simulación para evaluar el estado del modelo. Al simular surgirán “conductas sorpresa”, con lo cual se abre la posibilidad de encontrar un error en el modelo mental. Los modeladores usan diferentes tácticas para encontrar errores, lo que en esta etapa de construcción del modelo hace surgir elementos de comprensión importantes llamados entradas (Mass, 1991). Es una fase en que surgen muchas preguntas y el modelador modifica el modelo de simulación para responderlas. Mediante este juego de hacer preguntas y luego contestarlas, llega a las entradas. No todas las preguntas conducen a respuestas relevantes, pero esto solo puede afirmarse después de realizar las pruebas correspondientes. Una vez que logra el modelo de simulación “adecuado”, el modelador habrá encontrado las preguntas y respuestas importantes que componen el modelo.

Para que el modelador pueda llegar a discutir un problema modelado sin entrar en contradicciones, es necesario que haya recorrido todas las contradicciones posibles que puedan existir en el modelo. Esto



explica por qué el proceso de construcción del modelo toma mucho tiempo y por qué la experiencia personal del modelador es tan valiosa. Para quienes no conceptualizan ni formalizan el modelo, sino que entran en contacto con un producto derivado de este que fue fruto del proceso señalado —un libro o un ILE—, las actividades son distintas. En el caso de muchos “juegos de simulación”, suele evitarse la confrontación entre modelo mental y modelo de simulación (véase el diagrama II.3).

**DIAGRAMA II.3**  
**AL JUGAR NO SE DESARROLLA EL MODELO MENTAL**



Fuente: Elaboración propia.

En esta modalidad, la tentación de actuar rápidamente sobre la base del reiterado “ensayo y error” conducirá a conocer una solución al problema, pero sin poder explicarla o fundamentarla: el usuario no llega a las observaciones (insights) del modelador original.

¿Cómo conducir entonces al usuario hasta las observaciones más importantes del modelo sin obligarlo a estudiar dinámica de sistemas y a realizar el modelado completo? Resumimos la situación de la siguiente manera: si se tienen una situación problemática P y un modelo de simulación apropiado de ella MS (P), los creadores del modelo comprenden P porque comprenden MS, ya que también han desarrollado un modelo mental MM de P al crear M, esto es,  $MM(MS(P))$ .

## B. Dinámica urbana

Desde fines de los años sesenta del siglo XX, Forrester y su equipo trabajaron con los alcaldes de diversas metrópolis de los Estados Unidos para entender cómo influir en el desarrollo decadente de ellas. El fruto de este esfuerzo fue un modelo que puede ser revisado en el libro *Urban dynamics* (Forrester, 1969). Se trata de un modelo sumamente agregado que solo distingue entre tres recursos: personas, empresas y vivienda. Cada uno de ellos pasa por tres estados a lo largo de su ciclo de vida. Las numerosas interdependencias entre estas variables generan varias conductas “contraintuitivas”.

La experiencia más polémica fue la reacción de la ciudad “simulada” ante los programas de vivienda social. Resulta que conforme los edificios se hacen viejos, la población con más posibilidades de emplearse se mueve hacia otros sectores, los demás se quedan y llegan empresas de menor valor agregado. A su vez, esto conduce a un empobrecimiento de la población y se reduce el interés por instalar empresas nuevas. La construcción de viviendas sociales de bajo costo y baja calidad aumenta el “atractivo relativo” de esta ciudad justamente para el segmento poblacional que se conoce como subempleado. Sin embargo, para revertir el descenso, la ciudad necesitaría más profesionales y directivos.

Varias observaciones de este modelo han influido en el desarrollo del presente trabajo, sobre todo el atractivo relativo, que se ha utilizado para relacionar el transporte público y el transporte privado. En cuanto a la metodología, el uso extensivo de funciones de tabla (table functions) para especificar los efectos “multiplicadores” es algo que desde los tiempos de Urban dynamics se viene utilizando en el modelado de dinámica de sistemas.

## 1. El proceso

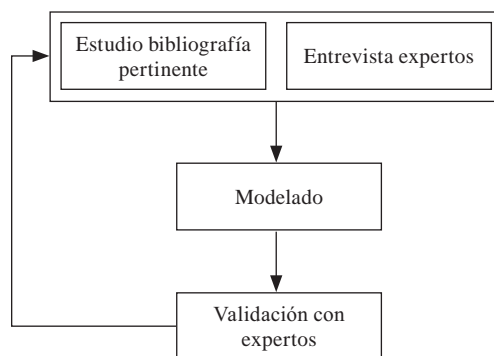
La metodología de dinámica de sistemas prevé la siguiente secuencia de fases:

- 1) Definición del problema y del propósito del estudio,
- 2) Desarrollo de un modelo conceptual (o “hipótesis dinámica”),
- 3) Cuantificación del modelo de simulación,
- 4) Validación del modelo de simulación, y
- 5) Explotación del modelo de simulación.

Las fases 3 y 4 son especialmente extensas en el tiempo: el levantamiento de la información de cuantificación desde los registros existentes, los expertos o ambos, así como la construcción de juegos de datos para calibrar el modelo y para su validación —en modelos con cientos de variables— requiere de un horizonte temporal que supera el año.

Debido a las limitaciones de tiempo del presente proyecto, en este estudio se trabajaron las fases 1 y 2. Por tratarse de una tarea de conceptualización o “estructuración del problema”, el proceso de desarrollo del modelo consistió de iteraciones semanales de conceptualización (véase el diagrama II.4).

**DIAGRAMA II.4**  
**PROCESO DE TRABAJO**



Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la bibliografía más relevante del estudio, cabe citar el ya mencionado clásico Urban dynamics (Forrester, 1969), una serie de artículos sobre aplicaciones de la System dynamics review y la International conference of the system dynamics society, así como el material publicado sobre el modelo Metropolitan activity relocation simulator (MARS) desarrollado en la Universidad Tecnológica de Viena (véase la bibliografía del presente documento). Este proceso fue reiterado durante las primeras semanas del proyecto y ha permitido elaborar el modelo cualitativo que se presenta a continuación (véanse las ecuaciones del anexo). La estructura causal resultante da cuenta de las variables y de los vínculos que son relevantes para referirse a los procesos urbanos en un horizonte de tiempo de 30 años. El modelo se describe en la siguiente sección.

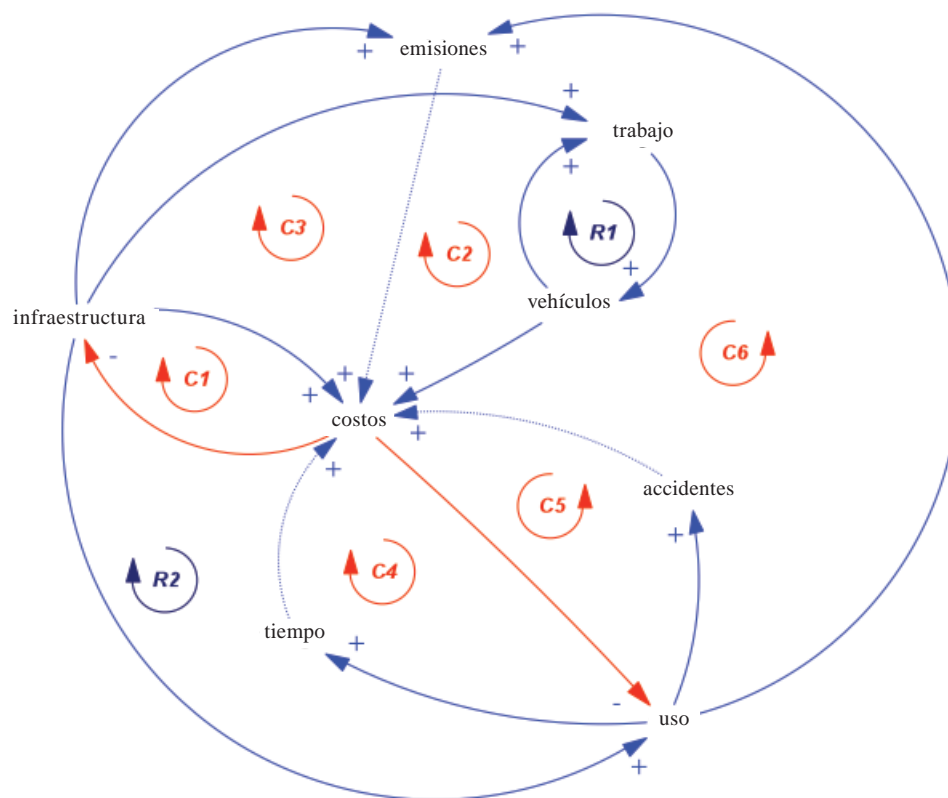
### **III. Estructura de la interdependencia entre uso del suelo e infraestructura de transporte**

#### **A. Estructura general**

La elaboración del modelo estuvo enmarcada por un modelo mental en que ciertos factores y determinadas vinculaciones causales son esenciales. Ante todo, la infraestructura de transporte (diferentes tipos de vías) tiene un ciclo de vida: debe ser construida, mantenida y desmantelada. Cada etapa implica costos y genera emisiones, pero también produce trabajo, que es fuente de ingreso para los hogares. Asimismo, la compra de vehículos es un costo, pero el uso y mantenimiento de ellos crean trabajo. Al mismo tiempo, los vehículos causan emisiones y estas a su vez generan costos. Por último, el tránsito provoca accidentes (que tienen un valor) y absorbe tiempo (que también tiene un valor). Dado que no todos los costos son pagados por quienes los causan, la determinación de viajar con mayor o menor frecuencia, las preferencias modales y las decisiones en materia de ampliación de la infraestructura pueden ser sesgadas, produciendo por ejemplo una cantidad de emisiones demasiado alta. Pero también se desprende la idea de que al intervenir en el transporte no solo cambian los viajes, los modos y las emisiones, sino que ello puede significar más o menos trabajo.

El diagrama III.1 muestra un esquema de bucle causal de la estructura de este modelo mental.

**DIAGRAMA III.1**  
**BUCLAS CAUSALES DEL MODELO MENTAL INICIAL**

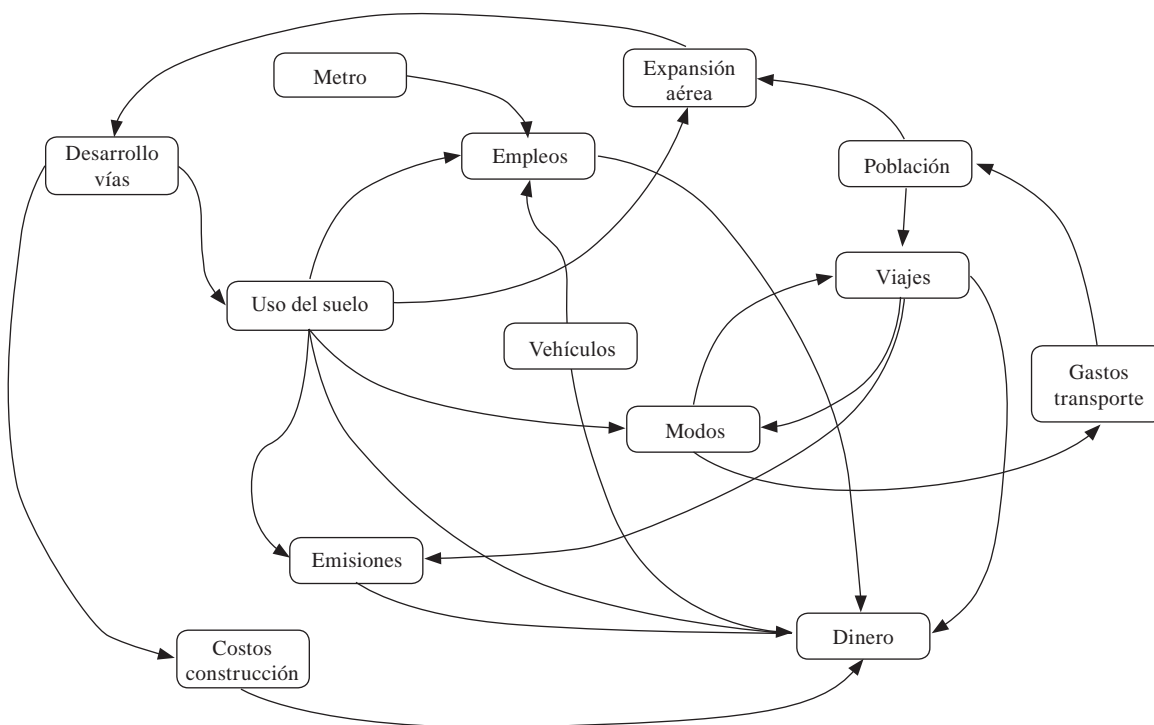


Fuente: Elaboración propia.

Las flechas del diagrama III.1 representan los vínculos causales y tienen una polaridad: el color azul indica polaridad positiva y el rojo, negativa. Los vínculos señalados mediante una línea sólida están presentes para los actores, pero los indicados con una línea punteada no se perciben. Esto implica que los costos causados por las emisiones, los accidentes y el tiempo no se tienen en cuenta a la hora de tomar decisiones basadas en los costos. Se aprecian múltiples interdependencias o “bucles de retroalimentación”: C significa compensador, ya que la actuación del bucle tiene un efecto de estabilización al invertir la dirección del cambio, mientras que R significa reforzador y contribuye a su aceleración. Dado que los costos están en cada uno de los bucles excepto R1, solo este no se verá afectado por la falta de percepción. Al aumentar la dotación de vehículos se crea trabajo (conductores, mecánicos), con lo cual más hogares llegan a tener un ingreso suficiente como para tener un vehículo propio. En los bucles C1 a C5 debería mantenerse el crecimiento de uso y de infraestructura en un itinerario que no genere costos superiores a la disposición a asumirlos. Sin embargo, la falta de percepción de parte de ellos conduce a no reducir adecuadamente el crecimiento de uso y de infraestructura (R2).

El desarrollo del modelo de dinámica de sistemas ha producido una conceptualización más detallada del modelo mental, en la cual se distinguen los bloques representados en el diagrama III.2.

**DIAGRAMA III.2**  
**SECTORES O “PERSPECTIVAS” DEL MODELO**



Fuente: Elaboración propia.

Cada rectángulo redondeado del diagrama III.2 representa un conjunto de variables, frecuentemente en torno a un recurso determinado. Como se expone más adelante, un recurso es algo que se requiere para mantener algún proceso en operación. Las flechas indican las relaciones causales entre las variables que pertenecen a diferentes bloques, cuyo contenido se explica en la subsección pertinente.

Cabe señalar que el modelo se sitúa en un nivel de abstracción elevado en que la ciudad aparece como una, sin descomponerla en sectores o zonas. Esto es poco frecuente en los modelos de transporte, pero se cree que para responder las preguntas formuladas es posible trabajar a este nivel de agregación.

Un modelo de dinámica de sistemas representa cómo ciertos recursos se acumulan más o menos rápidamente durante un período de tiempo y de qué manera la cantidad de un determinado recurso afecta la velocidad de acumulación de otros. Cada recurso está indicado mediante un rectángulo y este tipo de variable se llama acumulación (*stock*). En el modelo estudiado se consideraron los siguientes recursos:

- personas (de tres estratos socioeconómicos);
- vehículos (autobuses de tres tamaños diferentes, automóviles de uso privado o público);
- vías para el transporte en superficie (calles, vías segregadas, autopistas urbanas, ciclovías, zonas peatonales);
- líneas de metro;
- estacionamientos;
- edificios;
- acumulación de dinero en las cuentas bancarias de diversos actores (empresas de transporte, hogares, otras empresas, gobierno).

Aviso al lector: En el software utilizado, vensin, no se usan caracteres especiales para la construcción de los modelos (ej. Á, É, Ó, entre otros).

## B. Desarrollo de vías

### 1. Presentación general

Este sector se refiere a las decisiones de cambio de uso del suelo para el aumento, disminución o ambos de ciertos tipos de vías o infraestructura de transporte. Como se describe en el cuadro III.1, el modelo contiene diferentes tipos de infraestructura.

**CUADRO III.1**  
**TIPOS DE INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE**

Concepto	Abreviación
Calles	C
Vías segregadas	VS
Autopistas urbanas	APU
Ciclovías (para bicicleta)	B
Instalaciones para peatones	P
Estacionamientos	E

Fuente: Elaboración propia.

Además, parte del suelo puede ser ocupado por edificios y áreas verdes, representados por las abreviaciones que muestra el cuadro III.2.

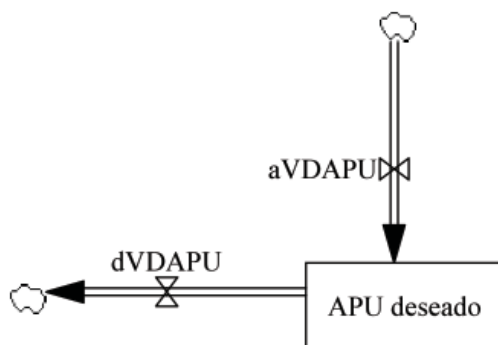
**CUADRO III.2**  
**TIPOS DE OCUPACIÓN DEL SUELO**

Edificios	Edf
(Áreas) verdes	V

Fuente: Elaboración propia.

La cantidad deseada de entidades puede aumentar o disminuir, de manera que las abreviaturas con que se designa a los flujos de implementación de estos cambios empiezan con las letras “a” o “d”. Así, el fragmento del modelo que muestra el diagrama III.3 expresa que el número deseado de autopistas urbanas puede aumentar o disminuir.

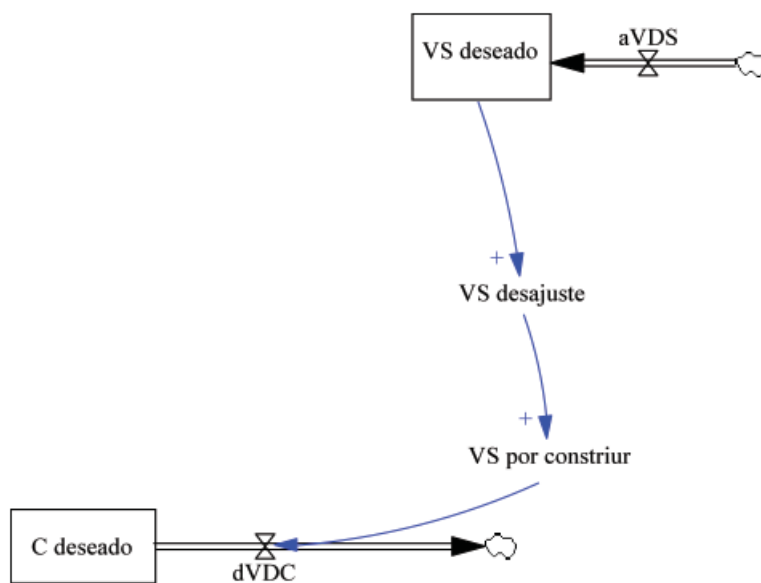
**DIAGRAMA III.3**  
**FRAGMENTO DEL MODELO: AUTOPISTAS URBANAS**



Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama III.3, la abreviación “aVDAPU” significa aumento del número deseado de vías del tipo autopista urbana. Los núcleos de esta estructura se encuentran en relaciones de interdependencia. Dado que la superficie total de la ciudad no cambia, toda variación del área correspondiente a algún tipo de uso debe ser compensada por el cambio complementario de una o varias de las demás superficies. Por lo tanto, al tomar la decisión de aumentar las vías segregadas deseadas, también hay que disminuir las calles.

**DIAGRAMA III.4**  
**LA SUPERFICIE TOTAL PERMANECE CONSTANTE**

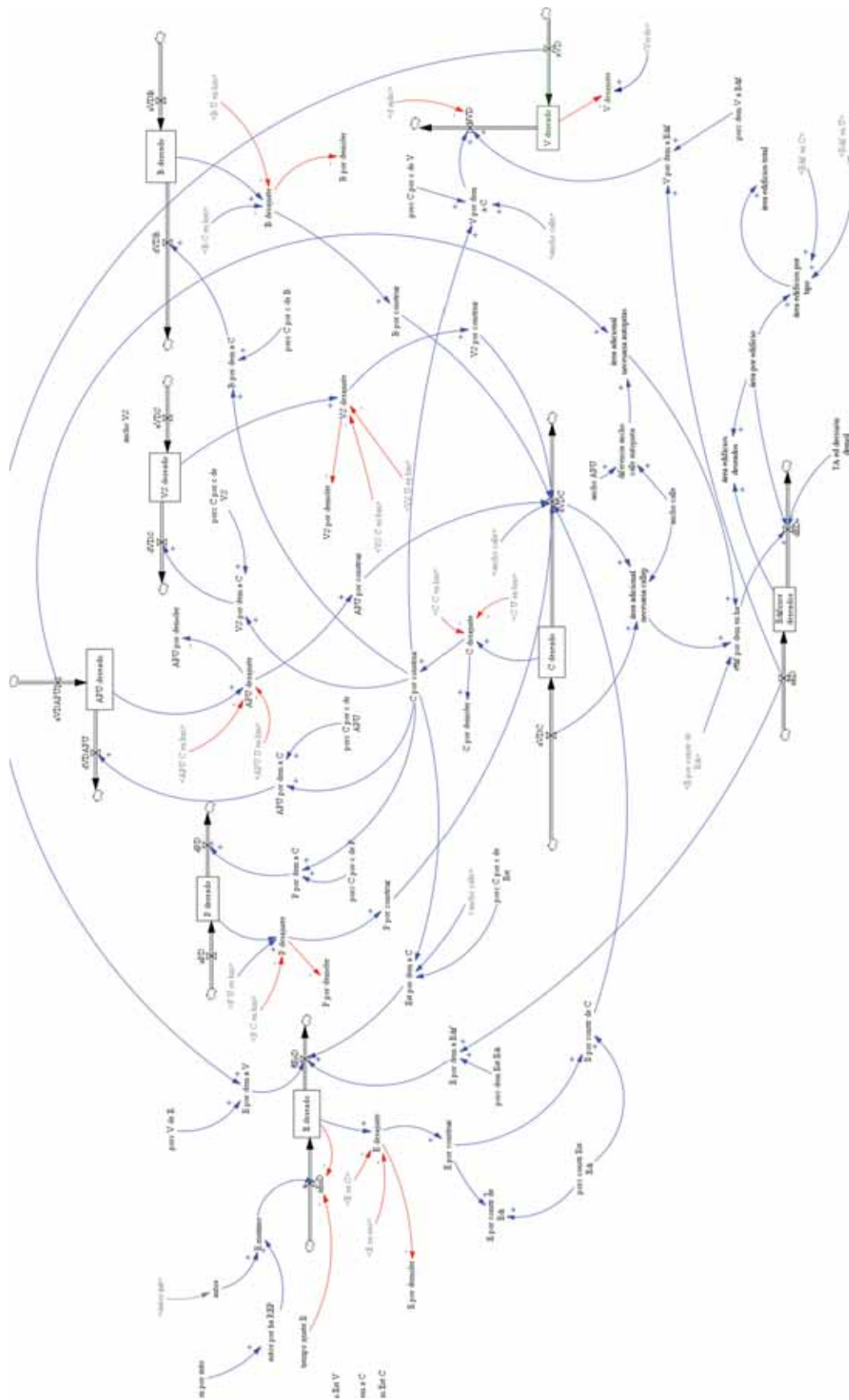


Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama III.4, al aumentar el número deseado de vías segregadas se incrementa el desajuste entre lo actual y lo deseado; por lo tanto, aumenta la cantidad de vías segregadas por construir, lo que corresponde a disminuir las vías deseadas del tipo calle. Según esta lógica de formulación, este sector contiene la parte del modelo en que los cambios de la dotación deseada se materializan y se determinan recíprocamente a fin de asegurar la conservación de la superficie total en la toma de decisiones.



**DIAGRAMA III.5**  
**EL SECTOR DESARROLLO DE VÍAS**



Fuente: Elaboración propia.

En la versión actual del modelo, la decisión de aumentar o reducir *alguno de los recursos es exógena, dejando la posibilidad de formular escenarios y evaluarlos mediante la simulación.*

## 2. Ecuaciones

El cuadro III.3 contiene las variables del sector desarrollo de vías. El término unidad se refiere a las unidades de medida y tipo, al tipo de variable (a: auxiliar; f: flujo; p: parámetro; s: stock; tf: función de tabla).

**CUADRO III.3**  
**ECUACIONES DEL SECTOR DESARROLLO DE VÍAS**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$APU\ C\ en\ km = ((APU\ C * 10\ 000) / ancho\ APU) / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en construcción	a
$APU\ desajuste = APU\ deseado - (APU\ U\ en\ km + APU\ C\ en\ km)$	km	Falta de autopistas urbanas	a
$APU\ por\ construir = \max(0, APU\ desajuste)$	km	Si el desajuste es negativo, entonces hay que construir. Si es positivo, nada se va a construir.	a
$APU\ por\ dem\ a\ C = C\ por\ construir * porc\ C\ por\ c\ de\ APU$	km	Autopistas urbanas por demoler para construir calles	a
$APU\ por\ demoler = \text{abs}(\min(0, APU\ desajuste))$	km	Si el desajuste es negativo, entonces hay que demoler. Si es positivo, nada se va a demoler.	a
$APU\ U\ en\ km = (APU\ U * 10\ 000) / ancho\ APU / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en uso	a
$\text{área adicional necesaria autopistas} = aVDAPU * 1\ 000 * \text{diferencia ancho calle autopista} / 10\ 000$	ha	Tamaño del área en que los edificios se reducen para acomodar la autopista adicional	a
$\text{área adicional necesaria calles} = (aVDC - dVDC) * 1\ 000 * \text{ancho calle} / 10\ 000$	ha	Tamaño neto del área en que las calles se reducen para acomodar la autopista adicional	a
$\text{área edificios deseada} = \text{área por edificio} * \text{número edificios deseado}$	ha	Área necesaria para acomodar los edificios deseados	a
$\text{área edificios por tipo} = (\text{Edif en C} + \text{Edif en U}) * \text{área por edificio}$	ha	Áreas cubiertas por edificios de diferentes tipos	a
$\text{área edificios total} = \text{área edificios por tipo}$	ha	Área total cubierta por edificios (de todos los tipos)	a
$\text{automóviles} = \text{autos init}$	vehículo		a
$\text{autos init} = \text{área ciudad} * p\ Est * \text{autos por ha REP}$	vehículo	Área disponible para estacionar por vehículos y por ha: cantidad de automóviles que inicialmente estaría en equilibrio con la superficie de estacionamientos disponible	a
$\text{automóviles por ha REP} = 10\ 000 / m\ por\ auto$	vehículo/ha	Número de automóviles que pueden estacionar en una ha	a
$B\ C\ en\ km = ((B\ C * 10\ 000) / ancho\ B) / 1\ 000$	km	Ciclovías en construcción	a
$B\ desajuste = B\ deseado\ REP - (B\ U\ en\ km + B\ C\ en\ km)$	****		a
$B\ deseado\ REP = \text{INTEG}(aVDB - dVDB, B\ U\ en\ km)$	km	Kilometraje necesario de ciclovías. Inicialmente se supone el equilibrio, de manera que el km inicial es el área inicial (porcentaje del área urbana) convertida a metros, por el ancho, convertido a km.	a
$B\ por\ construir = \max(0, B\ desajuste)$	km	Ciclovías por construir	a

(continúa)

Cuadro III.3 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
B por dem a C= C por construir*porc C por c de B	km	Ciclovías por demoler para construir calles	a
B por demoler= $\text{abs}(\min(0, B \text{ desajuste}))$	km	Ciclovías por demoler y dedicar a otros usos	a
B U en km= $((B \text{ U} * 10\,000) / \text{ancho B}) / 1\,000$	km	Ciclovías en uso	a
C C en km= $((C \text{ C} * 10\,000) / \text{ancho calle}) / 1\,000$	****	Calles en construcción	a
C desajuste= C deseado-(C U en km + C C en km)	km	Falta (o sobredotación) de calles	a
C por construir= $\max(0, C \text{ desajuste})$	km	Calles por construir	a
C por demoler= $\text{abs}(\min(0, C \text{ desajuste}))$	km	Calles por demoler y dedicar a otros usos	a
C U en km= $((C \text{ U} * 10\,000) / \text{ancho calle}) / 1\,000$	ha	1 000m*m/10 000	a
diferencia ancho calle autopista= ancho APU-ancho calle	m	Una autopista es más ancha que una calle; entonces, esta diferencia se calcula...	a
E desajuste= E deseado-(E en uso + E en C)	km	Falta de espacios de estacionamiento	a
E máximo= automóviles/automóviles por ha REP	ha	Hectáreas necesarias para número de automóviles que hay	a
E por constr de C= E por construir* (1-porc constr Est Edi)	ha	Área de estacionamientos por construir que reduce la de calles	a
E por constr de Edi= E por construir*porc constr Est Edi	ha	Área de estacionamientos que reduce la de edificios	a
E por construir= $\max(0, E \text{ desajuste})$	km	Superficie de estacionamientos por construir	a
E por dem a Edif= aED*porc dem Est Edi	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de edificios	a
E por dem a V= porc V de E*aVD	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de áreas verdes	a
E por demoler= $\text{abs}(\min(0, E \text{ desajuste}))$	km	Superficie de estacionamientos por demoler y dedicar a otros usos	a
edif por dem en ha= área adicional necesaria autopistas+área adicional necesaria calles+E por constr de Edi	edificio	Área por desocupar (mediante la demolición de edificios)	a
Est por dem a C= C por construir*porc C por c de Est*1 000*ancho calle/10 000	ha	Estacionamientos por demoler para construir calles	a
P C en km= $((P \text{ C} * 10\,000) / \text{ancho P}) / 1\,000$	km	Instalaciones para peatones en construcción	a
P desajuste= P deseado REP-(P U en km + P C en km)	km	Falta de instalaciones para peatones	a
P deseado REP= INTEG (aPD-dPD, P U en km)	km	Caminos y paseos para peatones deseados	a
P por construir= $\max(0, P \text{ desajuste})$	km	Instalaciones para peatones por construir	a
P por dem a C= C por construir*porc C por c de P	km	Zonas peatonales por demoler para construir calles	a
P por demoler= $\text{abs}(\min(0, P \text{ desajuste}))$	km	Instalaciones para peatones por demoler y dedicar a otros usos	a
P U en km= $((P \text{ U} * 10\,000) / \text{ancho P}) / 1\,000$	km	Instalaciones para peatones en uso	a
V desajuste= V deseado-Verde	ha	Falta o sobredotación de áreas verdes	a
V por dem a C= C por construir*porc C por c de V*1 000*ancho calle/10 000	ha	Áreas verdes por demoler para construir calles	a

(continúa)

Cuadro III.3 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$V \text{ por dem a Edif} = aED * \text{porc dem V a Edif}$	ha	Áreas verdes reducidas por construcción de edificios	a
$VS \text{ C en km} = ((VS \text{ C} * 10\,000) / \text{ancho VS}) / 10\,000$	km	Vías segregadas en construcción	a
$VS \text{ desajuste} = VS \text{ deseado REP} - (VS \text{ U en km} + VS \text{ C en km})$	km	Falta o sobredotación de vías segregadas	a
$VS \text{ deseado REP} = INTEG(aVDS - dVDS, VS \text{ U en km})$	km	Kilometraje necesario de vías segregadas	a
$VS \text{ por construir} = \max(0, VS \text{ desajuste})$	km	Vías segregadas por construir	a
$VS \text{ por dem a C} = C \text{ por construir} * \text{porc C por c de VS}$	km	Vías segregadas por demoler para construir calles	a
$VS \text{ por demoler} = \text{abs}(\min(0, VS \text{ desajuste}))$	km	Vías segregadas por demoler y destinar a otros usos	a
$VS \text{ U en km} = ((VS \text{ U} * 10\,000) / \text{ancho VS}) / 10\,000$	km	Vías segregadas en uso	a
$aEsD = ((E \text{ máximo} - E \text{ deseado}) / \text{tiempo ajuste E}) * 0$	ha/año	Variación necesaria de áreas requeridas para estacionamiento. Ahora desactivado (por multiplicar con cero).	f
$dED = (\text{edif por dem en ha} / \text{área por edificio}) / TA \text{ ed decisión demol}$	edificio/año	Disminución anual de edificios deseados	f
$dEsD = \text{Est por dem a C} + E \text{ por dem a V} + E \text{ por dem a Edif}$	ha/año	Disminución anual de superficie de estacionamientos	f
$dPD = P \text{ por dem a C}$	ha/año	Disminución anual de instalaciones para peatones	f
$dVD = (V \text{ por dem a C} + V \text{ por dem a Edif}) / d \text{ aplic}$	ha/año	La cantidad de áreas verdes disminuye a causa de las áreas correspondientes a edificios y calles que pasan a construcción. Las calles se miden en km, entonces se convierten a metros al multiplicar por el ancho en m2 y se reducen a ha.	f
$dVDAPU = APU \text{ por dem a C}$	ha/año	Disminución anual de kms de autopistas urbanas deseados	f
$dVDB = B \text{ por dem a C}$	ha/año	Disminución anual de ciclovías deseadas	f
$dVDC = APU \text{ por construir} + B \text{ por construir} + VS \text{ por construir} + P \text{ por construir} + ((E \text{ por constr de C} / 10\,000) / \text{ancho calle} / 1\,000)$	km/año	El kilometraje de calles deseado debe reducirse cuando aumentan APU, VS, B o E	f
$dVDS = VS \text{ por dem a C}$	ha/año	Disminución anual de vías segregadas deseadas	f
$aED = 0$	edificio/año	Aumento anual de edificios deseados (ahora 0)	f
$aVD = 0$	ha/año	Aumento anual de áreas verdes	f
$\text{ancho APU} = 16$	m	Ancho medio de las autopistas urbanas	p
$\text{ancho calle} = 12$	m	Ancho medio de calles simples	p
$\text{ancho VS} = 8$	m	Ancho medio de una vía segregada	p
$aPD = 0$	km/año	Aumento anual de instalaciones para peatones	p
$\text{área ciudad} = 60\,000$	ha		p
$\text{área por edificio} = 0,5$	ha/edificio	Área media cubierta por edificios	p
$aVDAPU = 0$	km/año	Aumento anual de kms deseados de autopistas urbanas	p
$aVDB = 0$	km/año	Aumento anual de ciclovías deseadas (ahora cero)	p

(continúa)

Cuadro III.3 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
aVDC= 0	km/año	Aumento anual de calles deseadas (ahora cero)	p
aVDS= 0	km/año	Aumento anual de vías segregadas deseadas	p
d aplic= 1	año	Se usa para convertir los kms de las decisiones en km/año	p
E por dem a C= 0	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles	p
m por auto= 10	m <sup>2</sup> /vehículo	Metros cuadrados por automóvil	p
p V= 0,1	Dmnl		p
porc C por c de APU= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán áreas de autopistas urbanas	p
porc C por c de B= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán áreas de ciclovías	p
porc C por c de Est= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán áreas de estacionamientos	p
porc C por c de P= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán áreas peatonales	p
porc C por c de V= 1	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán zonas de áreas verdes	p
porc C por c de VS= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de calles que ocuparán áreas de vías segregadas	p
porc constr Est Edi= 0,5	Dmnl	Porcentaje de construcción de estacionamientos que se toma del área de edificios (el resto se toma de las calles)	p
porc dem Est C= 0,4	Dmnl	Porcentaje de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles	p
porc dem Est Edi= 0,4	Dmnl	Porcentaje de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de edificios	p
porc dem Est V= 0,2	Dmnl	Porcentaje de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de áreas verdes	p
porc dem V a Edif= 1	Dmnl	Porcentaje de nuevos edificios que reduce las áreas verdes	p
porc V de E= 0	Dmnl	Porcentaje adicional de áreas verdes que se logrará al reasignar áreas de estacionamiento	p
TA ed decisión demol= 1	año	Tiempo de ajuste para decidir la demolición de edificios	p
tiempo ajuste E= 100	año		p
APU deseado= INTEG (aVDAPU-dVDAPU, APU U en km)	km	Kilometraje deseado de autopistas urbanas	s
C deseado= INTEG (aVDC-dVDC, C U en km)	km	Kilometraje necesario de calles normales	s
E deseado= INTEG (aEsD-dEsD, E en uso)	ha	Área necesaria para estacionamientos	s
E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s

(continúa)

Cuadro III.3 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s
Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción	s
Edif en U= INTEG (edif listo-trans Edi en APU-trans Edi en E, área ciudad*p Edif)	ha	Superficie de edificios en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
Edificios deseados= INTEG (aED-dED, Edif en U)	edificio	Área necesaria para edificios	s
V deseado= INTEG (aVD-dVD, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes; lo deseado se inicia al mismo nivel de lo actual. Puede aumentar, pero disminuye cuando se inicia la construcción de edificios, calles o ambos.	s
Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s

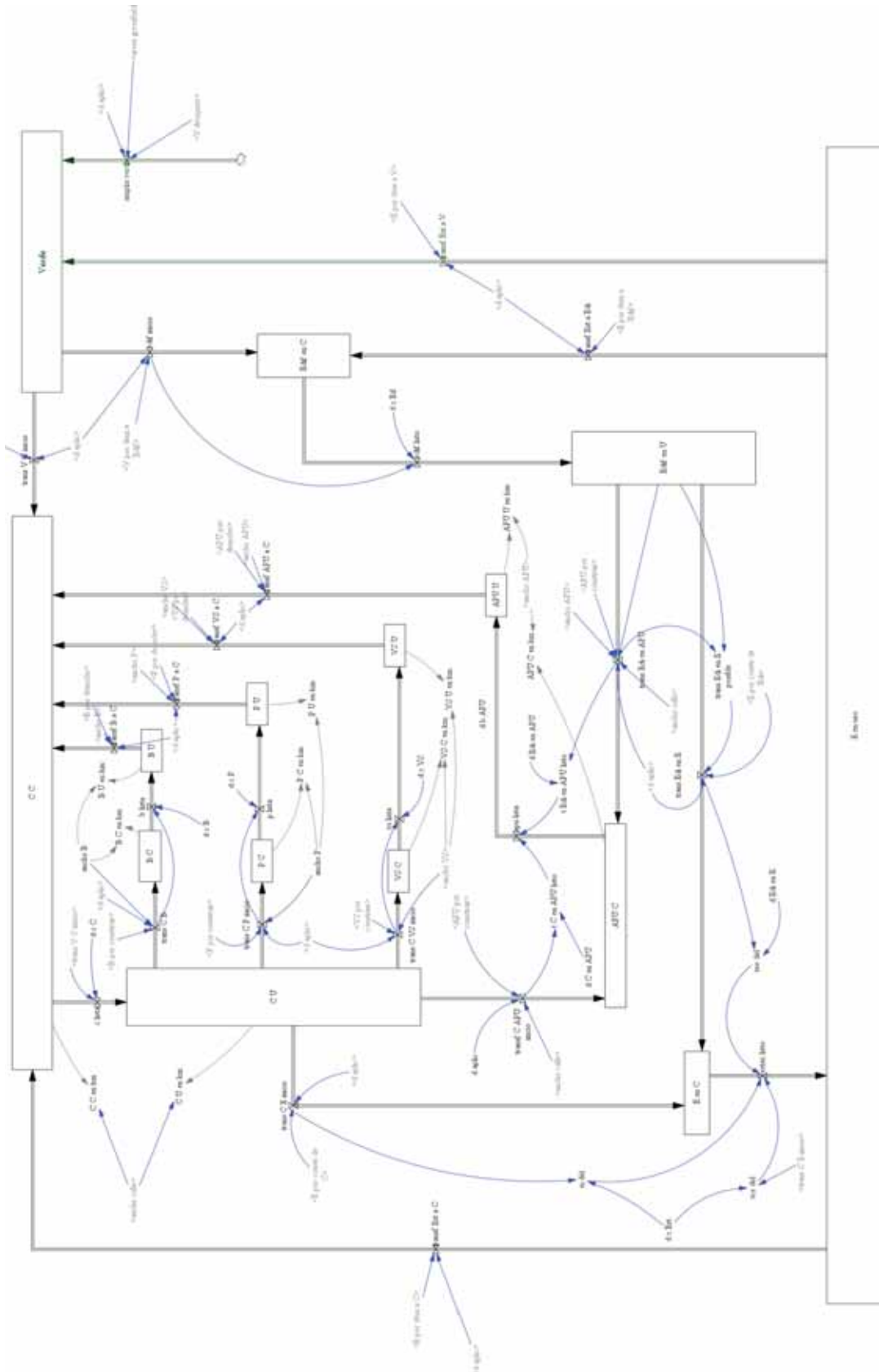
Fuente: Elaboración propia.

## C. Uso del suelo

### 1. Presentación general

Las decisiones tomadas en el sector desarrollo de vías influyen directamente en los cambios del uso del suelo. Este sector también se ha implementado de modo de asegurar la conservación de la superficie. Los diversos flujos de inicio de obras determinan un estado para el área correspondiente “en construcción”, debido a la duración del tipo de edificación. Durante la etapa de construcción existen tres entidades adicionales en otros sectores del modelo: empleos de la construcción, costos de construcción y emisiones.

DIAGRAMA III.6  
LA DINÁMICA DEL USO DEL SUELO



Fuente: Elaboración propia.



Cabe mencionar que en este segmento el modelo se aleja del típico ciclo de vida que suele suponerse para las obras de infraestructura: las vías se construyen y se usan (y también se mantienen), pero no se dan de baja (salvo para dedicar el área pertinente a otro tipo de uso).

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.4**  
**ECUACIONES DEL SECTOR USO DEL SUELO**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
APU C= INTEG (trans Edi en APU+transf C APU inicio-apu lista, 0)	ha	Superficie de autopistas urbanas en construcción	a
APU C en km= ((APU C*10 000)/ancho APU)/1 000	km	Autopistas urbanas en construcción	a
APU por construir= max (0,APU desajuste)	km	Si el desajuste es negativo, entonces hay que construir. Si es positivo, nada se va a construir.	a
APU por demoler= abs (min(0,APU desajuste))	km	Si el desajuste es negativo, entonces hay que demoler. Si es positivo, nada se va a demoler.	a
APU U= INTEG (apu lista-transf APU a C, área ciudad*p APU)	ha	Superficie de autopistas urbanas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	a
APU U en km= (APU U*10 000)/ancho APU/1 000	km	Autopistas urbanas en uso	a
áreas verdes= efecto costo desarrollo tf (costo desarrollo)	ha		a
automóviles init= área ciudad*p Est*autos por ha REP	vehículo	Área disponible para estacionar, por vehículo, por ha: cantidad de automóviles que inicialmente estaría en equilibrio con la superficie de estacionamientos disponible.	a
autos por ha REP= 10 000/m por automóvil	vehículo/ha	Número de automóviles que pueden estacionar en una ha	a
B C= INTEG (trans C B-b lista, 0)	a	Superficie de ciclovías en construcción	a
B C en km= ((B C*10 000)/ancho B)/1 000	km	Ciclovías en construcción	a
B por construir= max (0,B desajuste)	km	Ciclovías por construir	a
B por demoler= abs (min(0,B desajuste))	km	Ciclovías por demoler y dedicar a otros usos	a
B U en km= ((B U*10 000)/ancho B)/1 000	km	Ciclovías en uso	a
C C en km= ((C C*10 000)/ancho calle)/1 000	****	Calles en construcción	a
C U en km= ((C U*10 000)/ancho calle)/1 000	ha	1 000m*m/10 000	a
d b APU= 0	año	Demora de transformación en autopista urbana	a
E por constr de C= E por construir*(1-porc constr Est Edi)	ha	Área de estacionamientos por construir que reducirá la superficie de calles	a
E por constr de Edi= E por construir*porc constr Est Edi	ha	Área de estacionamientos que reduce la superficie ocupada por edificios	a
E por dem a Edif= aED*porc dem Est Edi	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de edificios	a
E por dem a V= porc V de E*aVD	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de áreas verdes	a

(continúa)

Cuadro III.4 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción	a
Edif en U= INTEG (edif listo-trans Edi en APU-trans Edi en E, área ciudad*p Edif)	ha	Superficie de edificios en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	a
P C en km= ((P C*10 000)/ancho P)/1 000	km	Instalaciones para peatones en construcción	a
P por construir= max (0,P desajuste)	km	Instalaciones para peatones por construir	a
P por demoler= abs (min(0,P desajuste))	km	Instalaciones para peatones por demoler y dedicar a otros usos	a
P U en km= ((P U*10 000)/ancho P)/ 1 000	km	Instalaciones para peatones en uso	a
t C en APU listo= DELAY FIXED (transf C APU inicio, d C en APU, 0)	****		a
trans Edi en E posible= Edif en U-trans Edi en APU	ha	Máxima superficie disponible para transformar	a
V desajuste= V deseado-Verde	ha	Falta o sobredotación de áreas verdes	a
V por dem a C= C por construir*porc C por c de V*1 000*ancho calle/10 000	ha	Áreas verdes por demoler para construir calles	a
V por dem a Edif= aED*porc dem V a Edif	ha	Áreas verdes reducidas por construcción de edificios	a
VS C en km= ((VS C*10 000)/ancho VS)/10 000	km	Vías segregadas en construcción	a
VS por construir= max (0,VS desajuste)	km	Vías segregadas por construir	a
VS por demoler= abs (min(0,VS desajuste))	km	Vías segregadas por demoler y destinar a otros usos	a
VS U en km= ((VS U*10 000)/ancho VS)/10 000	km	Vías segregadas en uso	a
amplia verde= V desajuste/d aplic+áreas verdes	ha/año	Superficie de áreas verdes que anualmente se agrega	f
apu lista= t C en APU listo+t Edi en APU listo	ha/año	Superficie de autopistas urbanas que anualmente se hace utilizable	f
b lista= DELAY FIXED(trans C B, d c B, 0)	ha/año	Superficie de ciclovías que anualmente se hace utilizable	f
c lista= DELAY FIXED (trans V C inicio, d c C, 0)	ha/año	Superficie de calles que anualmente se hace utilizable	f
edif inicio= V por dem a Edif/d aplic	ha/año	Superficie de áreas verdes que se redestina anualmente a edificios	f
edif listo= DELAY FIXED (edif inicio, d c Ed, 0)	ha/año	Superficie de edificios que anualmente se hace utilizable	f
ei del= DELAY FIXED (trans C E inicio, d c Est, 0)	ha/año		f
estac listo= ei del+tce del+tee del	ha/año	Superficie de estacionamientos que anualmente se hace utilizable	f
p lista= DELAY FIXED (trans C P inicio, d c P, 0)	ha/año	Superficie de instalaciones para peatones que anualmente se hace utilizable	f
t Edi en APU listo= DELAY FIXED (trans Edi en APU, d Edi en APU, 0)	ha/año	Superficie de edificios convertida anualmente en autopistas urbanas	f
tce del= DELAY FIXED (trans C E inicio, d c Est, 0)	ha/año		f
tee del= DELAY FIXED (trans Edi en E, d Edi en E, 0)	ha/año	Superficie tomada de edificios, que actualmente está lista	f
trans C B= B por construir*1 000*ancho B/10 000/d aplic	ha/año	Superficie que anualmente se redestina de calles a ciclovías	f

(continúa)

Cuadro III.4 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
trans C E inicio= E por constr de C/d aplic	ha/año	Superficie que anualmente se redestina de calles a estacionamientos	f
trans C P inicio= P por construir* 1 000*ancho P/10 000/d aplic	ha/año	Superficie que anualmente se redestina de calles a instalaciones peatonales. Viene en km, se convierte a m, luego a m2, ha y ha/año	f
trans C VS inicio= VS por construir*1000*ancho VS/10 000/d aplic	ha/año	Superficie que anualmente se redestina de calles a vías segregadas. Viene en km, se convierte a m, luego a m2, ha y ha/año	f
trans Edi en APU= min(Edif en U,((ancho APU/ancho calle)*(APU por construir* 1 000)/10 000)/d aplic)	ha/año	Para construir autopistas urbanas: el ancho que no se puede tomar de las calles (porque son más anchas que una calle), se toma de los edificios. El Min evita stock negativo.	f
trans Edi en E= max(trans Edi en E posible, E por constr de Edi/d aplic)	ha/año	Área de edificios que se convertirá en estacionamientos	f
trans V C inicio= V por dem a C/d aplic	ha/año	Superficie de áreas verdes que se redestina anualmente a calles	f
transf APU a C= (((APU por demoler* 1 000)*ancho APU)/10000)/d aplic	ha/año	Superficie de autopistas urbanas que se transforma en calles	f
transf B a C= (((B por demoler* 1 000)*ancho B)/10 000)/d aplic	ha/año	Superficie de ciclovías que se transforma en calles	f
transf C APU inicio= (APU por construir*1 000*ancho calle/10 000)/d aplic	ha/año	Cuando hay que construir APU se toma desde las calles el mismo kilometraje, pero solo por el ancho de la calle. El resto viene de los edificios! (kilómetros por construir * 1 000 = metros; * ancho = superficie en m2; /10 000 = ha; /año = ha/año)	f
transf Est a C= E por dem a C/d aplic	ha/año	Superficie que se transforma de estacionamientos a calles	f
transf Est a Edi= E por dem a Edif/d aplic	ha/año	Superficie que se transforma desde estacionamientos hasta edificios	f
transf Est a V= E por dem a V/d aplic	ha/año	Superficie que se transforma anualmente desde estacionamientos hasta áreas verdes	f
transf P a C= (((P por demoler* 1 000)*ancho P)/10 000)/d aplic	ha/año	Superficie de instalaciones peatonales que se transforma en calles	f
transf VS a C= (((VS por demoler* 1 000)*ancho VS)/10 000)/d aplic	ha/año	Superficie de vías segregadas que se transforma en calles	f
vs lista= DELAY FIXED(trans C VS inicio, d c VS, 0)	ha/año	Superficie de vías segregadas que anualmente se hacen utilizables	f
ancho APU= 16	m	Ancho medio de las autopistas urbanas	p
ancho B= 3	m	Ancho medio de una ciclovía	p
ancho calle= 12	m	Ancho medio de calles simples	p
ancho P= 2	m	Ancho medio de las instalaciones para peatones	p
ancho VS= 8	m	Ancho medio de una vía segregada	p
area ciudad= 60 000	ha		p
d aplic= 1	año	Se usa para convertir los km de las decisiones en km/año	p
d c B= 1	año	Tiempo de construcción de ciclovías	p

(continúa)

Cuadro III.4 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
d c C= 1	año		p
d c Ed= 2	año		p
d C en APU= 2	año	Tiempo de transformación de calles en autopistas urbanas	p
d c Est= 1	año	Tiempo de construcción de estacionamientos	p
d c P= 1	año		p
d c VS= 1	año	Tiempo de construcción de vías segregadas	p
d Edi en APU= 2	año	Tiempo necesario para demoler edificios y poner autopistas urbanas en su lugar	p
d Edi en E= 2	año	Tiempo de demolición de edificios y construcción de estacionamientos	p
E por dem a C= 0	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles	p
p APU= 0,05	Dmnl		p
p B= 0	Dmnl		p
p Calles= 0,2	Dmnl		p
p Edif= 0,5	Dmnl		p
p Est= 0,05	Dmnl		p
p P= 0,05	Dmnl		p
p V= 0,1	Dmnl		p
p VS= 0,05	Dmnl		p
B U= INTEG (b lista-transf B a C, área ciudad*p B)	ha	Superficie de ciclovías en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
C C= INTEG (trans V C inicio+transf APU a C+transf B a C+transf Est a C+transf P a C+transf VS a C-c lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción	s
C U= INTEG (c lista-trans C B-trans C E inicio-trans C P inicio-trans C VS inicio-transf C APU inicio, área ciudad*p Est)	ha	Superficie de calles en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s
P C= INTEG (trans C P inicio-p lista, 0)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en construcción	s
P U= INTEG (p lista-transf P a C, área ciudad*p P)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
VS C= INTEG (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de VS en construcción	s
VS U= INTEG (vs lista-transf VS a C, área ciudad*p VS)	ha	Superficie de VS en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s

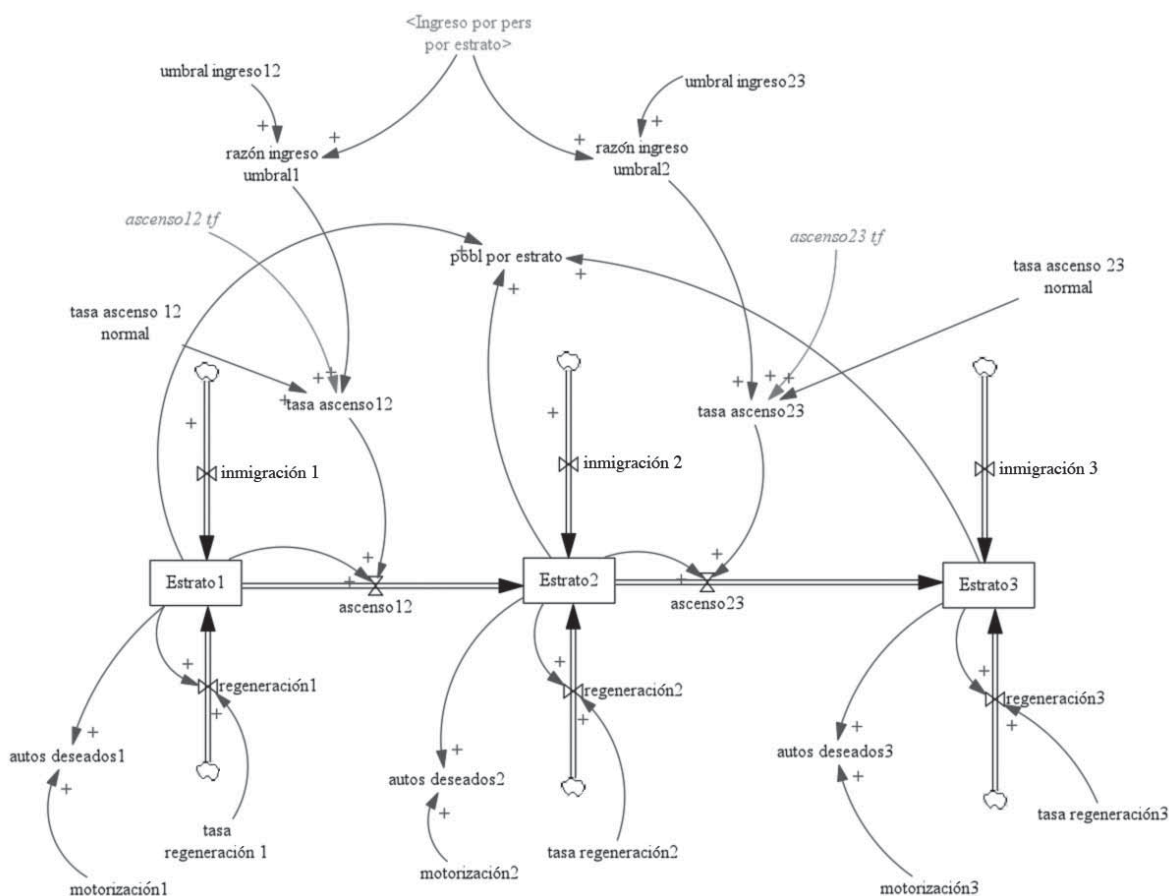
Fuente: Elaboración propia.

## D. Población

### 1. Presentación general

La población de la ciudad se ha subdividido en tres estratos caracterizados por su perfil de conducta de transporte, que a su vez depende del nivel de ingresos. El estrato 1 es de bajos ingresos, tiene una tasa de motorización muy reducida y usa muy poco el transporte privado (respecto del transporte no motorizado y público). El estrato 2 tiene una tasa de motorización más elevada y utiliza principalmente el transporte público. El estrato 3 tiene una alta tasa de motorización y tiende a preferir el transporte privado. La población de los tres estratos recibe un flujo de inmigración y además se supone una reproducción neta positiva. Por otra parte, en función del crecimiento del ingreso (cuando este supera un umbral determinado), las personas avanzan desde el estrato 1 hasta el 2 y finalmente hacia el 3.

**DIAGRAMA III.7  
EL SECTOR DE POBLACIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.5**  
**ECUACIONES DEL SECTOR POBLACIÓN**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$\text{autos deseados1} = \text{Estrato1} * \text{motorización1}$	autos	Cantidad de automóviles (privados) deseados en el primer estrato	a
$\text{autos deseados2} = \text{Estrato2} * \text{motorización2}$	autos	Tasa de motorización del segundo estrato	a
$\text{autos deseados3} = \text{Estrato3} * \text{motorización3}$	autos	Cantidad de automóviles (privados) deseados en el tercer estrato	a
$\text{pobl por estrato[bajo]} = \text{Estrato1}$ ; $\text{pobl por estrato[medio]} = \text{Estrato2}$ ; $\text{pobl por estrato[alto]} = \text{Estrato3}$	personas	Número de personas en cada estrato	a
$\text{razón ingreso umbral1} = \text{Ingreso por pers por estrato[bajo]} / \text{umbral ingreso12}$	Dmnl	Relación del ingreso respecto del umbral	a
$\text{razón ingreso umbral2} = \text{Ingreso por pers por estrato[medio]} / \text{umbral ingreso23}$	Dmnl	Relación del ingreso respecto del umbral	a
$\text{tasa ascenso12} = \text{tasa ascenso 12 normal} * \text{ascenso12 tf(razón ingreso umbral1)}$	Dmnl	Porcentaje de la población del primer estrato que se traslada al segundo	a
$\text{tasa ascenso23} = \text{tasa ascenso 23 normal} * \text{ascenso23 tf(razón ingreso umbral2)}$	Dmnl	Porcentaje de la población del segundo estrato que se traslada al tercero	a
$\text{ascenso12} = \text{Estrato1} * \text{tasa ascenso12}$	personas/año	Traslado del primero al segundo estrato	f
$\text{ascenso23} = \text{Estrato2} * \text{tasa ascenso23}$	personas/año	Traslado del segundo al tercer estrato	f
$\text{regeneración1} = \text{Estrato1} * \text{tasa regeneración 1}$	personas/año	Regeneración neta del primer estrato	f
$\text{regeneración2} = \text{Estrato2} * \text{tasa regeneración2}$	personas/año	Regeneración neta del segundo estrato	f
$\text{regeneración3} = \text{Estrato3} * \text{tasa regeneración3}$	personas/año	Regeneración neta del tercer estrato	f
$\text{inmigración1} = 0$	personas/año	Inmigración de personas del primer estrato	f
$\text{inmigración2} = 0$	personas/año	Inmigración de personas del segundo estrato	f
$\text{inmigración3} = 0$	personas/año	Inmigración de personas del tercer estrato	f
$\text{motorización1} = 0,1$	autos/persona	Tasa de motorización del primer estrato	p
$\text{motorización2} = 0,3$	autos/persona	Tasa de motorización del segundo estrato	p
$\text{motorización3} = 0,8$	autos/persona	Tasa de motorización del tercer estrato	p
$\text{tasa ascenso 12 normal} = 0,01$	Dmnl	Porcentaje de la población del primer estrato que se traslada normalmente al segundo	p
$\text{tasa ascenso 23 normal} = 0,01$	Dmnl	Porcentaje de la población del segundo estrato que se traslada normalmente al tercero	p

(continúa)

Cuadro III.5 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
tasa regeneración 1= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del primer estrato	p
tasa regeneración2= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del segundo estrato	p
tasa regeneración3= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del tercer estrato	p
umbral ingreso12= 2,5e+006	CLP/año	Nivel de ingreso superior al cual se pertenece al segundo estrato	p
umbral ingreso23= 1,2e+007	CLP/año	Nivel de ingreso superior al cual se pertenece al tercer estrato	p
Estrato1= INTEG (inmigración1+regeneración1-ascenso12, 3e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte público	s
Estrato2= INTEG (ascenso12+inmigración2+regeneración2-ascenso23, 2e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte privado	s
Estrato3= INTEG (ascenso23+inmigración3+regeneración3, 1e+006)	personas	Población del estrato que tiene los medios para transportarse según sus preferencias	s
Ingreso por pers por estrato[bajo]= INTEG (creci ingreso, 2.5e+006); Ingreso por pers por estrato[medio]= INTEG (creci ingreso, 1.2e+007); Ingreso por pers por estrato[alto]= INTEG (creci ingreso, 2e+007)	CLP/año	Ingreso anual medio de los estratos	s
ascenso12 tf (((0,0)-(1,1)),(0,0030581, 0,00877193),(0,993884, 0,995614))	Dmnl	Efectos de la razón sobre la tasa de ascenso	tf
ascenso23 tf (((0,0)-(1,1)),(0, 0,00438596),(0,993884, 0,991228))	Dmnl	Efectos de la razón sobre la tasa de ascenso	tf

Fuente: Elaboración propia.

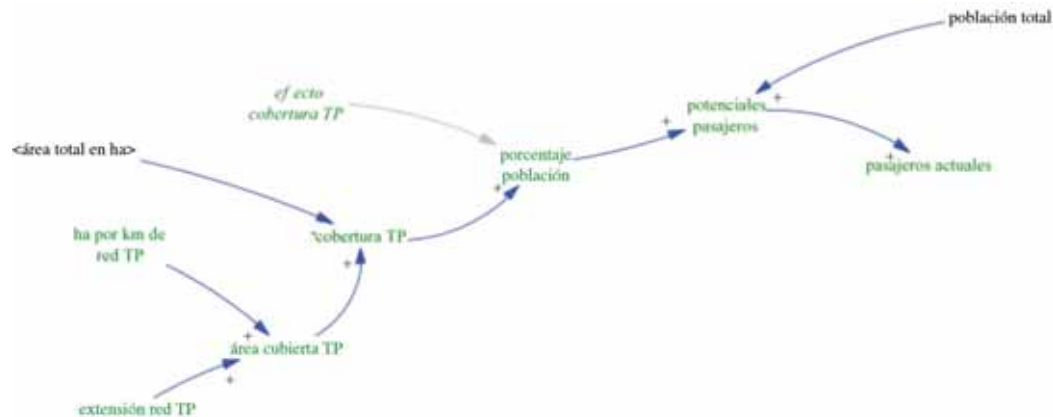
## E. Modos de transporte

### 1. Presentación general

Este modelo distingue entre dos modos de transporte motorizado: público y privado. De esta manera, para facilitar la agrupación se suprimen detalles propios de la diferenciación entre los modos típicos de transporte público y privado. Aún así, la forma en que las condiciones de los recursos se convierten en decisiones es compleja. En los diagramas III.8, III.9, III.10, III.11, III.12, III.13 y III.14 se presentan las etapas del sector. Las variables del transporte público (abreviado como TP) aparecen en color verde y las del transporte privado, en marrón.



**DIAGRAMA III.8**  
**SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 1**

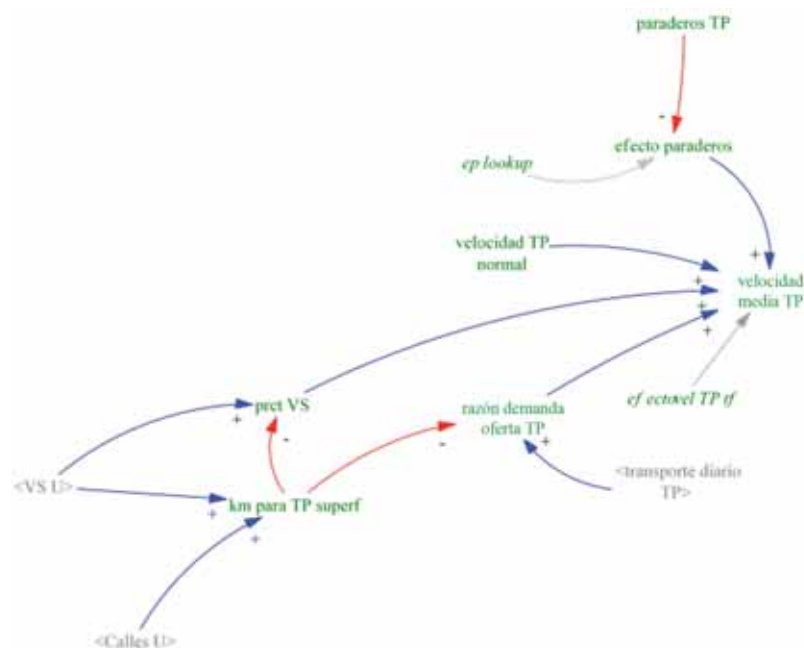


Fuente: Elaboración propia.

Dentro del área total de la ciudad y considerando la extensión de la red de transporte público, que abarca una superficie determinada, el TP tiene una cierta cobertura. Dada la naturaleza no lineal del efecto de esta en el porcentaje de la población incluida en el área del TP, se usa una función de tabla en este contexto. Este porcentaje reduce la población total de la ciudad a una de potenciales pasajeros, que a su vez determina la cantidad de pasajeros actuales del transporte público.

El área total de la ciudad aparece aquí como una variable sombra (shadow variable) copiada desde el sector expansión del área urbana, donde se explica su crecimiento. Considerando que su ampliación puede reducir la cobertura del TP, es importante explicar por qué se expande (véase el diagrama III.9). Para compensar el crecimiento de la ciudad, solo podría aumentarse la extensión de la red de transporte público, lo que causará otros efectos.

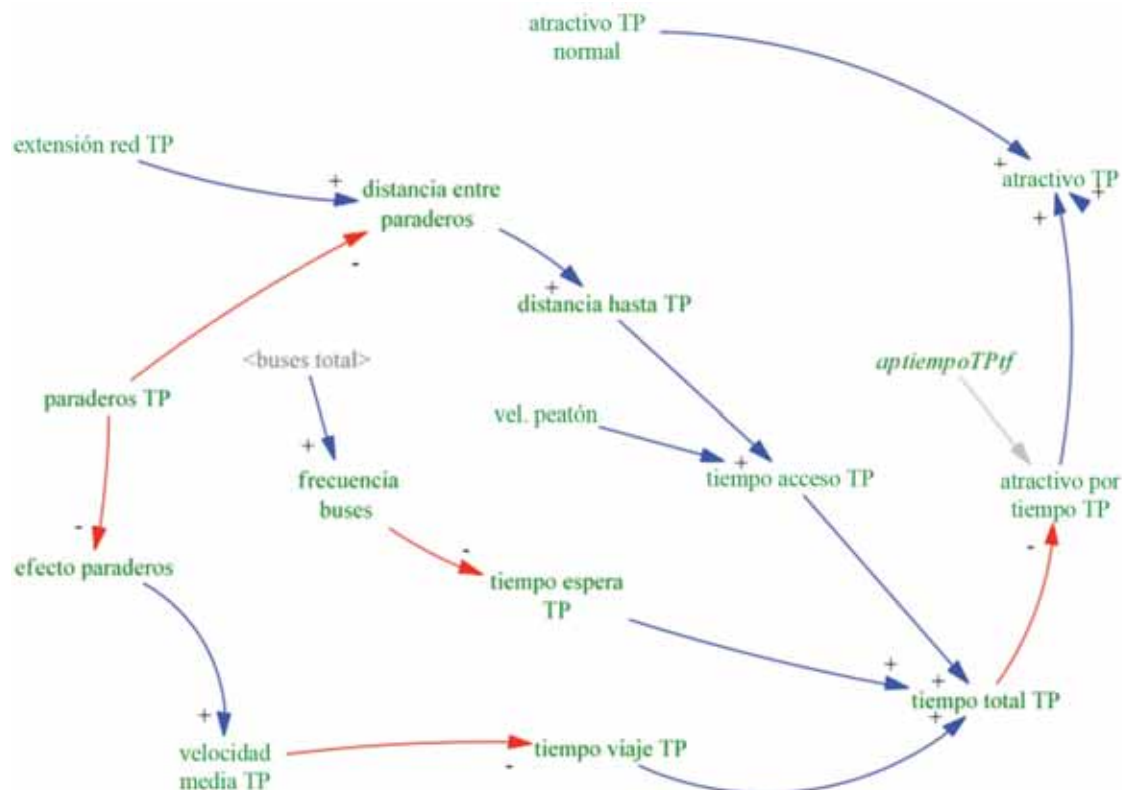
**DIAGRAMA III.9**  
**SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 2**



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, los kilómetros de calles y vías segregadas se suman al kilometraje de transporte público en superficie, un porcentaje del cual corresponde a vías segregadas. Un mayor kilometraje reduce la razón entre demanda y oferta de TP, que expresa la presión de la demanda diaria de transporte público. Esta razón, así como el porcentaje de vías segregadas (cuya velocidad media es superior), entran en una “función gráfica”<sup>1</sup> para producir un multiplicador que, junto con la velocidad normal y el efecto paradero (más paraderos significan una menor velocidad media), permite determinar la velocidad media del TP.

**DIAGRAMA III.10**  
**SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 3**



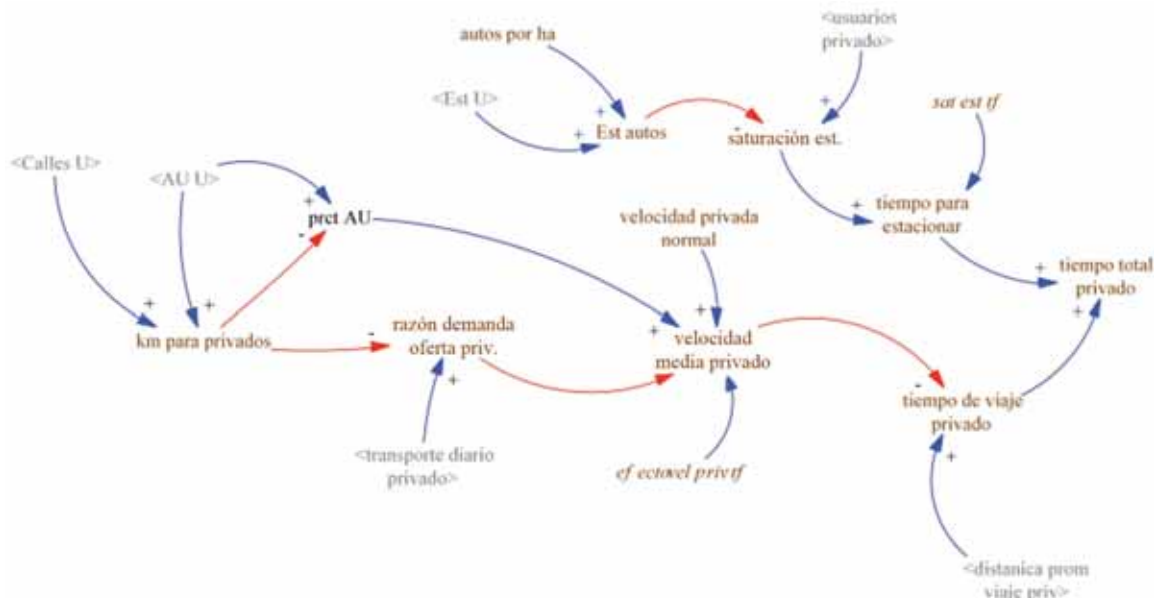
Fuente: Elaboración propia.

La velocidad media del transporte público puede reducir o aumentar el tiempo de viaje en este servicio, uno de los factores que se suman al tiempo total TP. Los demás factores son el tiempo de acceso al TP (punto más próximo de subida) y el tiempo de espera en los paraderos. A su vez, este último depende de la frecuencia de los autobuses como consecuencia del número de ellos. El tiempo de acceso al transporte público depende de la distancia hasta el próximo paradero, lo que está supeditado al número de paraderos y a la extensión de la red pertinente. La suma de los tiempos determina, de manera no lineal, el atractivo por tiempo del TP (mayor tiempo -> menos atractivo).

Si se amplía la red de transporte público en respuesta a una reducción de la cobertura (efecto del crecimiento del área urbana), entonces aumenta la distancia entre los paraderos, lo que significa mayor tiempo total por viajes en TP y menor atractivo del servicio. Esto podría compensarse mediante la compra de más autobuses y el consiguiente incremento de su frecuencia, pero ya hemos visto que ello tiene costos adicionales. Esta discusión se retoma en la subsección sobre costos.

<sup>1</sup> Las funciones gráficas o “tablefunctions” se usan para aproximar relaciones causales no lineales.

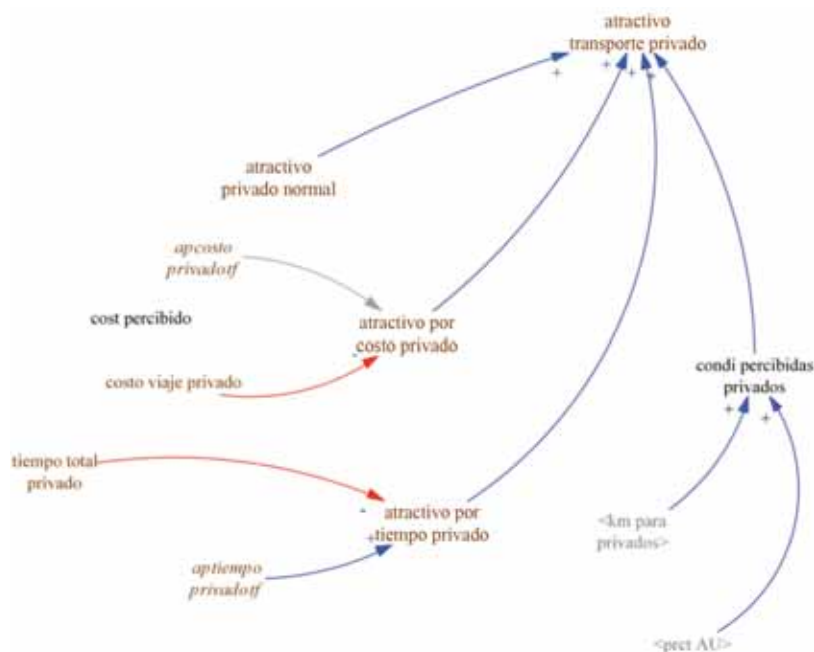
### DIAGRAMA III.11 SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 4



Fuente: Elaboración propia.

Algo similar ocurre en el campo del transporte privado. Los kilómetros de calles y autopistas urbanas construidas, junto con la razón entre demanda y oferta, regulan la velocidad media del transporte privado que es esencial para el tiempo de viaje. Si a este se agrega el tiempo para estacionar, que a su vez depende de la cantidad de estacionamientos y la demanda de ellos —lo que produce una saturación más o menos elevada—, se explica el tiempo total del transporte privado.

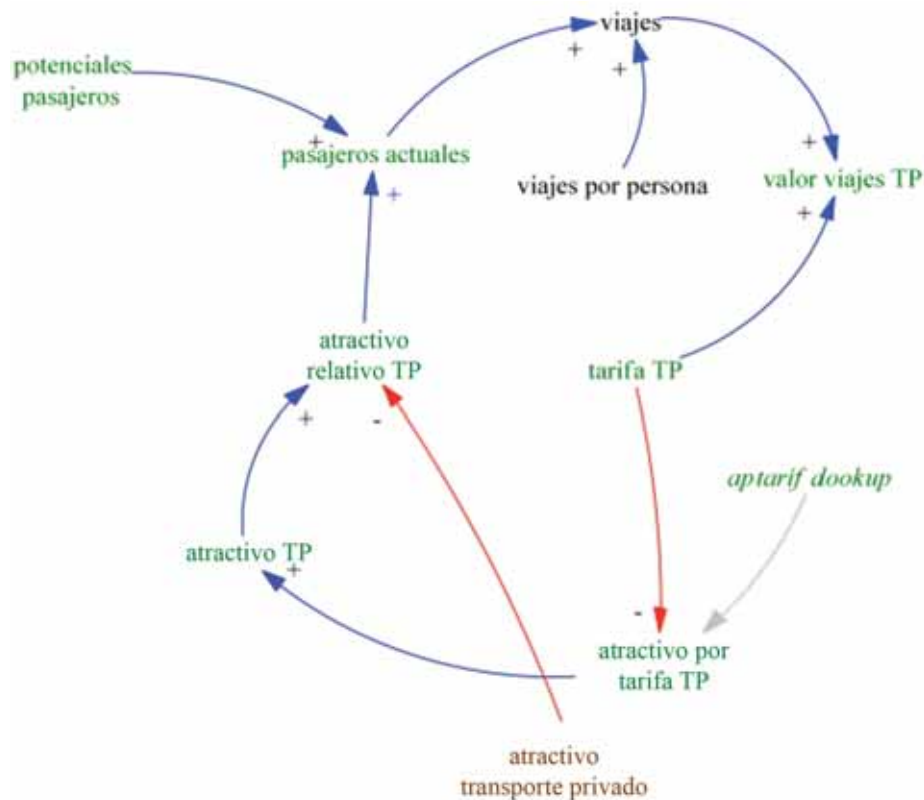
### DIAGRAMA III.12 SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 5



Fuente: Elaboración propia.

El atractivo del transporte privado es el efecto combinado de los dos componentes que dependen del tiempo y del costo (cobros por el uso de autopistas urbanas), modulado por la percepción que se tenga de las condiciones de este modo de transporte. Se cree que la sensación de poder moverse libremente generada por el porcentaje de autopistas tiene incluso mayor influencia en las preferencias de las personas que la condición (negativa) de tener que pagar peaje para usarlas.

**DIAGRAMA III.13**  
**SECTOR MODOS DE TRANSPORTE - SEGMENTO 6**



Fuente: Elaboración propia.

La relación entre atractivo del transporte privado y del transporte público es el atractivo relativo de este último. Esta variable regula el porcentaje de potenciales pasajeros que usan el TP, generando un cierto número de viajes. En conjunto con la tarifa, que a su vez disminuye el atractivo del TP, determina el valor de los viajes en medios de transporte público.



El diagrama III.14 presenta el sector modos de transporte en su totalidad e ilustra que, si bien es un modelo de alto nivel de agregación, tiene un grado de complejidad que no debe subestimarse.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.6**  
**ECUACIONES DEL SECTOR MODOS DE TRANSPORTE**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$APU\ U\ en\ km = (APU\ U * 10\ 000) / ancho$ $APU / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en uso	a
área cubierta TP= extensión red TP/ha por km de red TP	ha	Área cubierta por el transporte público	a
área total en ha= área edificios en ha+área transporte en ha+Verde+áreas verdes	ha		a
atractivo por costo privado= apcosto privado tf (costo viaje privado)	Dmnl	Atractivo del transporte privado a causa de su costo	a
atractivo por tarifa TP= aptarifa lookup (tarifa TP)	Dmnl	Atractivo del transporte público a causa de sus tarifas	a
atractivo por tiempo privado= aptiempo privado tf (tiempo total privado)	Dmnl	Atractivo del transporte privado a causa del tiempo que representa su uso	a
atractivo por tiempo TP= aptiempoTP tf (tiempo total TP)	Dmnl	Atractivo del transporte público a causa del tiempo que representa su uso	a
atractivo privado normal= 0,8	Dmnl	Porcentaje de la población que preferiría el transporte privado	a
atractivo relativa TP= atractivo TP/atractivo transporte privado	Dmnl	Atractivo del transporte público respecto del transporte privado	a
atractivo TP= atractivo TP normal*atractivo por tiempo TP*atractivo por tarifa TP	Dmnl	Atractivo del transporte público	a
atractivo transporte privado= atractivo por costo privado*atractivo por tiempo privado*atractivo privado normal*condi percibidas privados	Dmnl	Atractivo del transporte privado	a
autobuses total= SUM (Autobusesuses [Vehículo grande!])	autobuses	Cantidad total de autobuses	a
$C\ U\ en\ km = ((C\ U * 10\ 000) / ancho\ calle) / 1\ 000$	ha	$1\ 000m * m / 10\ 000$	a
cobertura TP= área cubierta TP/área total en ha	Dmnl	Porcentaje del área urbana cubierto por el transporte público	a
condi percibidas privados= prct AU/km para privados	Dmnl	Porcentaje de las vías para privados que son autopistas	a
costo viaje privado= cobro tránsito por km+costo carburante por ltr/consumo carburante por km	CLP/km	Costo medio por km conducido	a
distancia entre paraderos= extensión red TP/paraderos TP	km/paraderos	Esta dimensión parece extraña; sería más convincente tener “km”	a
distancia hasta TP= distancia entre paraderos/2	km	Distancia entre casa y paradero	a
distancia media viaje TP= SUM(distancia diaria TP por estrato [Estratos!])/viajes diarios TP total	km/viaje	Distancia media de viajes	a
distancia media viaje priv= SUM (distancia diaria priv por estrato [Estratos!])/viajes diarios priv	km/viaje	Distancia típica de un viaje en transporte privado	a
efecto paraderos= ep lookup(paraderos TP)	Dmnl		a
Est autos= E en uso*autos por ha	Automóviles	Cantidad total de autos que pueden estacionarse	a
extensión red TP= APU U en km+C U en km+Metro U+VS U en km	km	Kilómetros de recorrido de la red de transporte público	a
frecuencia autobuses= frecuencia tf (extensión red TP/autobuses total)	viajes/hora	Esto debe depender de la extensión de la red (km) y el número de autobuses	a

(continúa)

Cuadro III.6 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
km para privados= APU U en km+C U en km	km	Vías usables por transporte privado	a
km para TP superf= C U en km+VS U en km	km	Vías usables por transporte público	a
modo TP por estrato [Estratos]= efecto atractivo tf (atractivo relativo TP)* porcentaje población	Dmnl	Porcentaje de TP	a
pasajeros actuales= potenciales pasajeros*atractivo relativo TP	personas	Personas que usan el transporte público	a
pobl por estrato [bajo]= Estrato1; pobl por estrato [medio]= Estrato 2; pobl por estrato [alto]= Estrato 3	personas	Personas en cada estrato	a
población total= Estrato 1+Estrato 2+Estrato 3	personas	Número total de personas	a
porcentaje población= efecto cobertura TP (cobertura TP)	Dmnl	Porcentaje de la población que habita en el área de cobertura del transporte público	a
potenciales pasajeros= población total*porcentaje población	personas	Cantidad de personas en el área de cobertura del transporte público	a
prct AU= APU U en km/km para privados	Dmnl	Porcentaje de transporte público que utiliza autopistas urbanas	a
prct VS= VS U en km/km para TP superf	Dmnl	Porcentaje del transporte público que se realiza en vías segregadas	a
razón demanda oferta priv= transporte diario privado/km para privados	Dmnl	Relación entre la demanda de transporte privado y la oferta de vías	a
razón demanda oferta TP= transporte diario TP/km para TP superf	Dmnl	Relación entre la demanda de transporte público y la oferta de vías	a
saturación est= usuarios privado/Est autos	Dmnl	Grado de saturación de los estacionamientos	a
tiempo acceso TP= distancia hasta TP/vel peatón	horas	Tiempo de caminata entre casa y paradero	a
tiempo de viaje privado= distancia media viaje priv/velocidad media privado	horas	Tiempo necesario para el viaje en transporte privado	a
tiempo espera TP= 1/frecuencia autobuses	horas	Tiempo de espera en los paraderos	a
tiempo para estacionar= sat est tf (saturación est)	horas	Tiempo de búsqueda de un estacionamiento	a
tiempo total privado= tiempo de viaje privado+tiempo para estacionar	horas	Tiempo que significa un viaje en transporte privado	a
tiempo total TP= tiempo acceso TP+tiempo espera TP+tiempo viaje TP	hora	Horas por viaje en transporte público en función de tiempo de acceso, tiempo de espera y tiempo de desplazamiento	a
tiempo viaje TP= distancia media viaje TP/velocidad media TP	horas	Duración del viaje en transporte público	a
transporte diario privado= SUM (transporte diario privado por estrato [Estratos!])	km/día	Distancia diaria total en transporte privado	a
transporte diario TP= SUM (transporte diario TP por estrato [Estratos!])	km/día	Distancia diaria total en transporte público	a
usuarios privado= SUM (usuarios privados por estrato [Estratos!])	personas	Cantidad de personas que usan transporte privado	a
valor viajes TP= viajes*tarifa TP	CLP/año		a
velocidad media privado= velocidad privada normal*efecto vel priv tf (razón demanda oferta priv)*prct AU	km/hora	Velocidad media del transporte privado	a
velocidad media TP= velocidad TP normal*velocidad TP normal*efecto vel TP tf(razón demanda oferta TP)*prct VS*efecto paraderos	km/hora	Velocidad media del transporte público	a
viajes= porcentaje población*pobl por estrato [Estratos]*modo TP por estrato [Estratos]*viajes día persona por estrato [Estratos]	viajes/año	Viajes que se producen en el transporte público	a

(continúa)



Cuadro III.6 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
viajes día persona por estrato [Estratos]= min (viajes día persona por estrato normal [Estratos]*multiplicador viajes diarios por persona, viajes posibles)	viajes/persona/ día	Cantidad de viajes diarios por persona. Depende de las condiciones percibidas respecto del transporte privado. Limitado por el presupuesto fijo de tiempo.	a
VS U en km= ((VS U*10 000)/ancho VS)/10 000	km	Vías segregadas en uso	a
atractivo TP normal= 0,2	Dmnl	Atractivo normal del transporte público	p
Autos por ha= 200	autos/ha	Cantidad de autos que estacionan por ha	p
cobro tránsito por km= 0	CLP/km	Monto cobrado por uso de calles	p
Consumo carburante por km= 0,1	ltr/km	Litros de carburante consumidos por km conducido	p
costo carburante por ltr= 680	CLP/ltr	Precio de carburante por litro	p
ha por km de red TP= 1	ha/km	Área cubierta por km de red de transporte público	p
paraderos TP= 1 000	paraderos	Cantidad de paraderos	p
tarifa TP= 400	CLP/viaje	Tarifa de un pasaje típico	p
vel peatón= 4	km/hora		p
velocidad privada normal= 19	km/hora	Velocidad media normal del transporte privado	p
velocidad TP normal= 15	km/hora	Velocidad media normal del transporte público	p
viajes por persona= 700	viajes/persona /año		p
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s
Estrato1= INTEG (inmigración1+regeneración1- ascenso12, 3e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte público	s
Estrato2= INTEG (ascenso 12+ inmigración 2+regeneración 2-ascenso 23, 2e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte privado	s
Estrato3= INTEG (ascenso 23+ inmigración 3+regeneración 3, 1e+006)	personas	Población del estrato que tiene los medios para transportarse según sus preferencias	s
Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso	s
apcosto privado tf ( [(0,0)-(10,10)], (0,0611621,9,86842), (9,81651,0,175439))	Dmnl	Forma de los efectos del costo en relación al atractivo	tf
aptarifa lookup ([(0,0)-(800,1)], (4,89297,0,991228), (198,165,0,5), (396,33,0,355263), (795,107,0,25))	Dmnl		tf
aptiempo privado tf ([(0,0)-(10,10)], (0,030581,9,82456), (9,87768,0,175439))	Dmnl	Forma de los efectos del tiempo en relación al atractivo	tf
aptiempoTP tf ([(0,0)-(3,1)], (0,00611621,0,991228), (1,00917,0,495614), (1,99388,0,337719), (2,97248,0,22807))	Dmnl		tf
efecto cobertura TP ([(0,0)-(1,1)], (0,0), (0,244648,0,0964912), (0,749235,0,407895), (1,0,5))	Dmnl		tf
efecto vel priv tf ([(0,0)-(10,10)], (0,030581,9,82456), (9,81651,0,263158))	Dmnl	Forma de los efectos de la razón entre demanda y oferta en la velocidad	tf
efecto vel TP tf ([(0,0)-(10,10)], (0,030581,8,72807), (9,87768,1,05263))	Dmnl	Forma de los efectos de la relación entre demanda y oferta en la velocidad media	tf
ep lookup ([(0,0)-(5000,1)], (0,0), (5000,1))	Dmnl		tf
frecuencia tf ([(0,0)-(10,10)], (0,6,09649), (9,87768,3,28947))	Dmnl	Forma de los efectos de la extensión de la red en la frecuencia de los autobuses	tf
sat est tf ([(0,0)-(10,10)], (0,0611621,0,0877193), (9,96942,9,25439))	Dmnl	Forma de los efectos de la saturación de los estacionamientos en el tiempo de búsqueda	tf

Fuente: Elaboración propia.

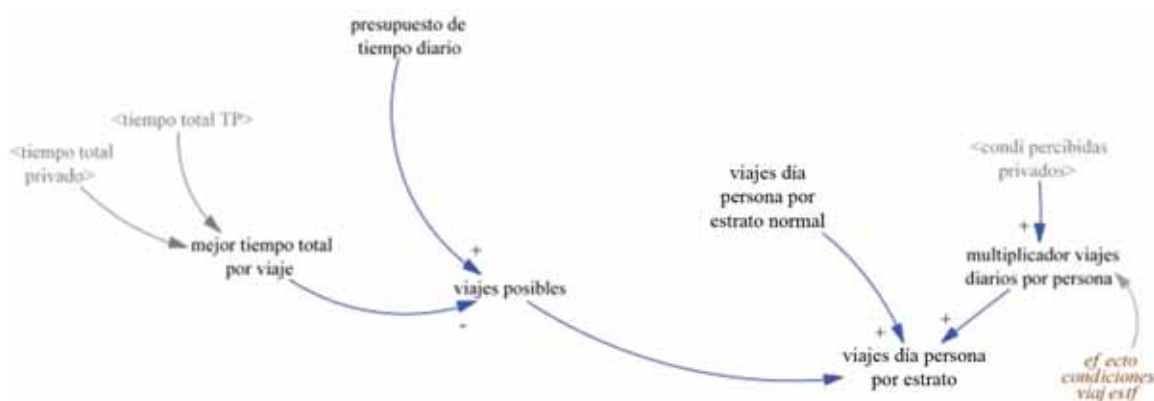


## F. Los viajes

### 1. Presentación general

Cada estrato de la población realiza un determinado número de viajes diarios que depende de una serie de factores (véase el diagrama III.15).

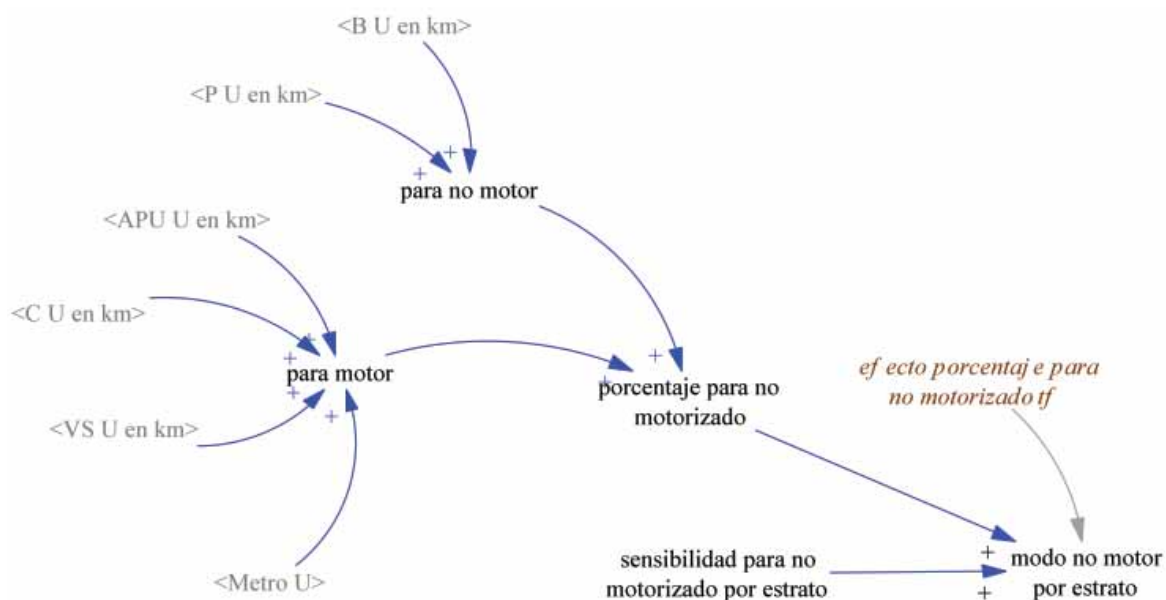
**DIAGRAMA III.15**  
**NÚMERO DE VIAJES DIARIOS, POR ESTRATO**



Fuente: Elaboración propia.

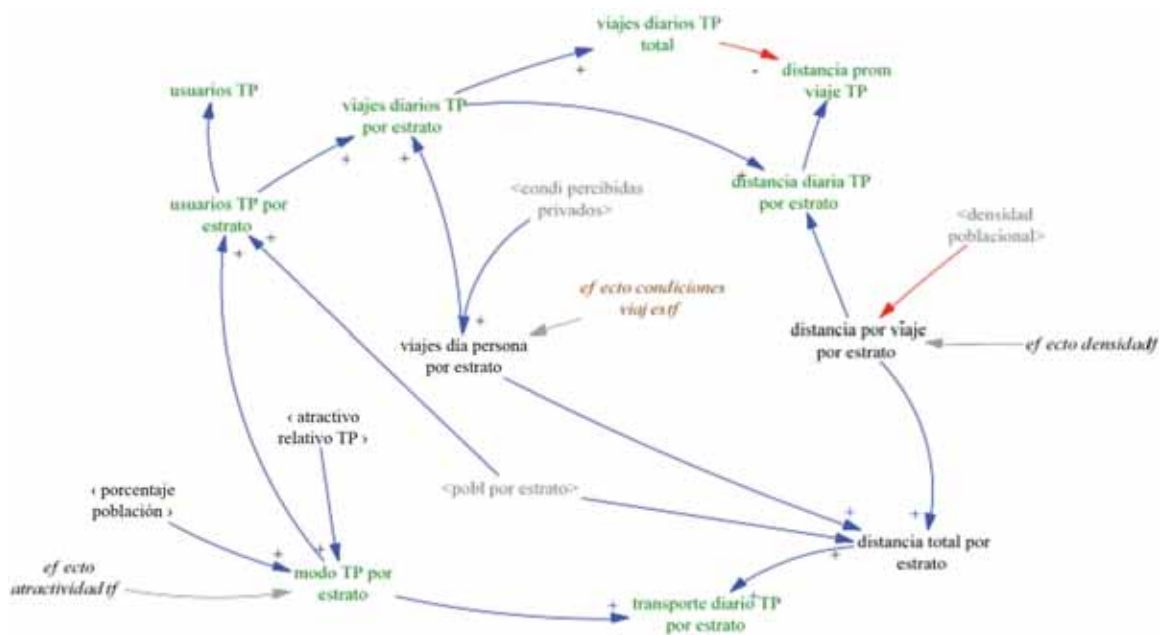
Por otra parte, como lo ilustra el diagrama III.16, el uso de modos de transporte no motorizado por parte de cada estrato también depende de diferentes variables.

**DIAGRAMA III.16**  
**DETERMINACIÓN DE MODOS DE TRANSPORTE NO MOTORIZADO DE CADA ESTRATO**



Fuente: Elaboración propia.

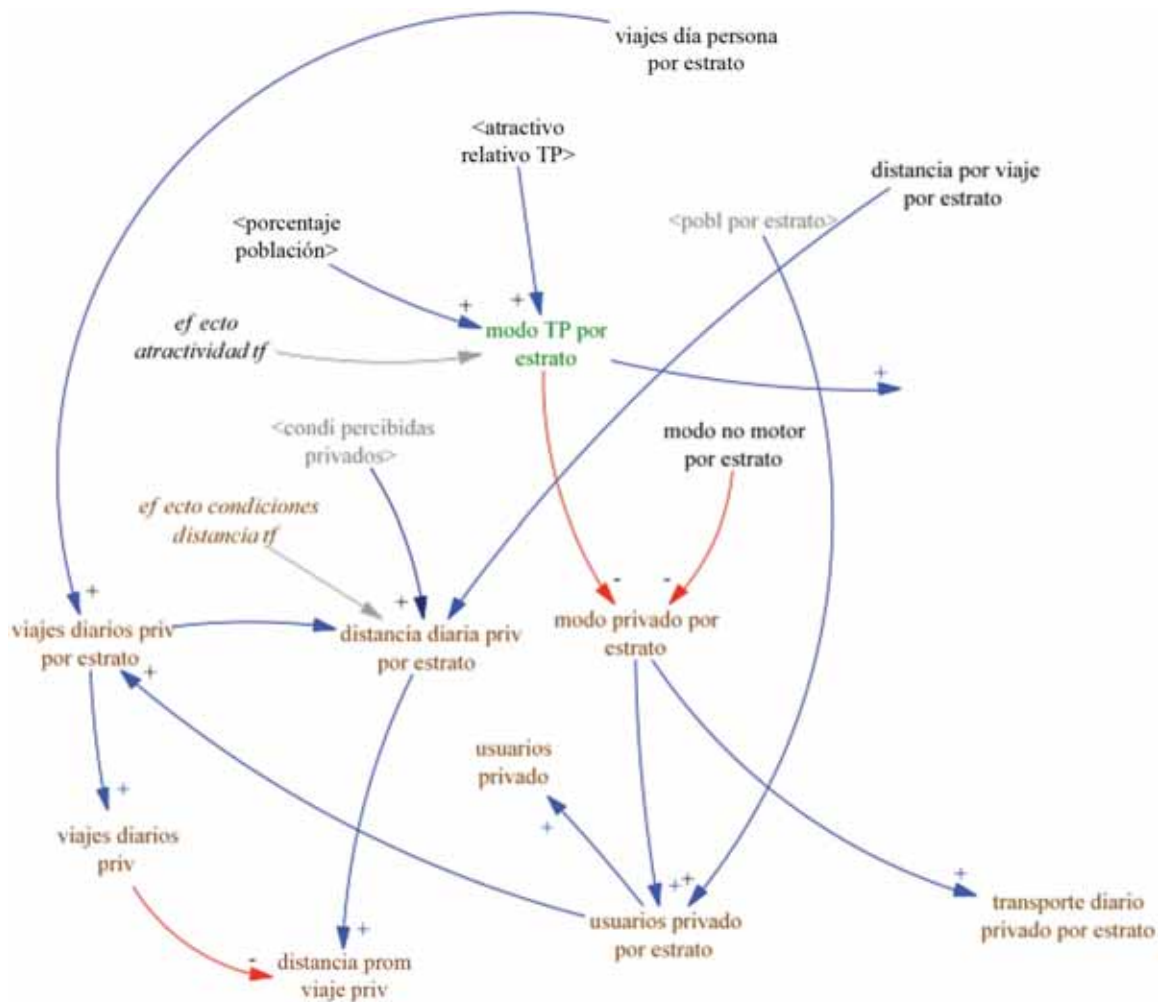
**DIAGRAMA III.17**  
**VIAJES EN MODOS DE TRANSPORTE PÚBLICO**



Fuente: Elaboración propia.

Hay dos variables importantes en relación con los viajes: la cantidad diaria de estos y su distancia media. Aquí hemos supuesto que las cantidades varían según el estrato de población de que se trate, por lo cual las variables tienen subíndices para distinguirlas de acuerdo con cada uno de ellos. En la actualidad, el número de viajes depende (de manera no lineal) de las condiciones percibidas sobre el transporte privado, que supuestamente tendría una alta preferencia, sujeta a la restricción del nivel de ingresos de los distintos estratos. La distancia por viaje depende de la densidad poblacional; entre ambas variables, se calcula la distancia total por estrato. Según el atractivo relativo del transporte público (y del estrato de que se trate) se determina el porcentaje de viajes que se harán en el modo TP, pudiendo así calcular el kilometraje diario de este. También se conoce el número de usuarios del TP por estrato y luego la cantidad de viajes en este modo de transporte por estrato y total, lo que permite estimar la distancia media de los viajes en TP de los tres estratos.

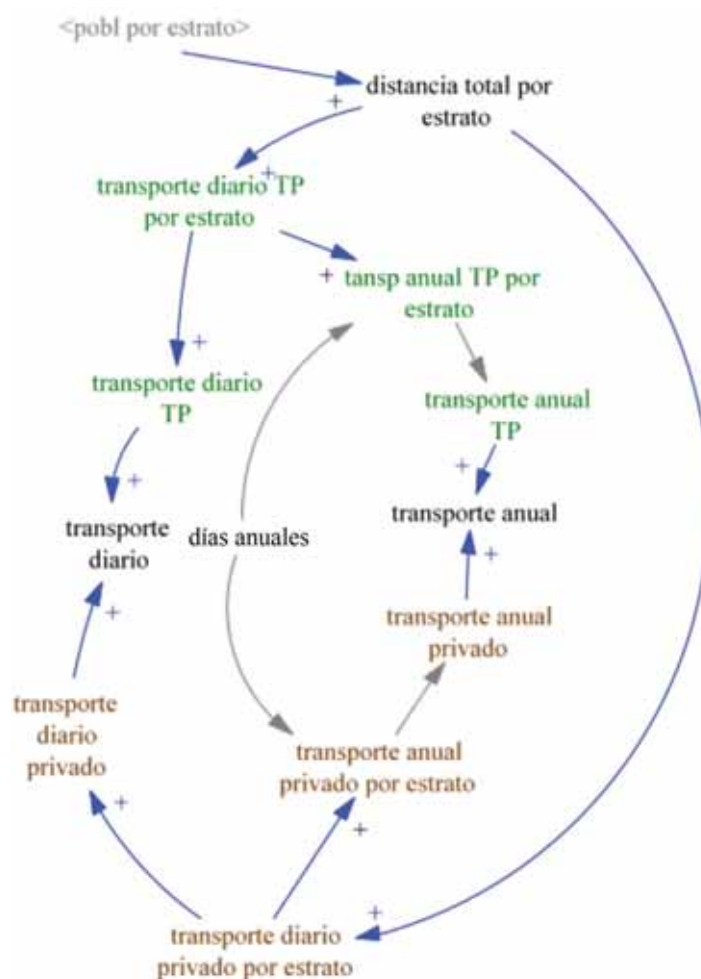
**DIAGRAMA III.18**  
**VIAJES EN MODOS DE TRANSPORTE PRIVADO**



Fuente: Elaboración propia.

Análogamente, se calculan las respectivas cantidades del transporte privado: los viajes que no se realizan en TP ni en modos no motorizados corresponden a transporte privado. Se determinan entonces la cantidad de personas, el número de viajes y la distancia medias total y por estrato de la población.

### DIAGRAMA III.19 TRANSPORTE TOTAL



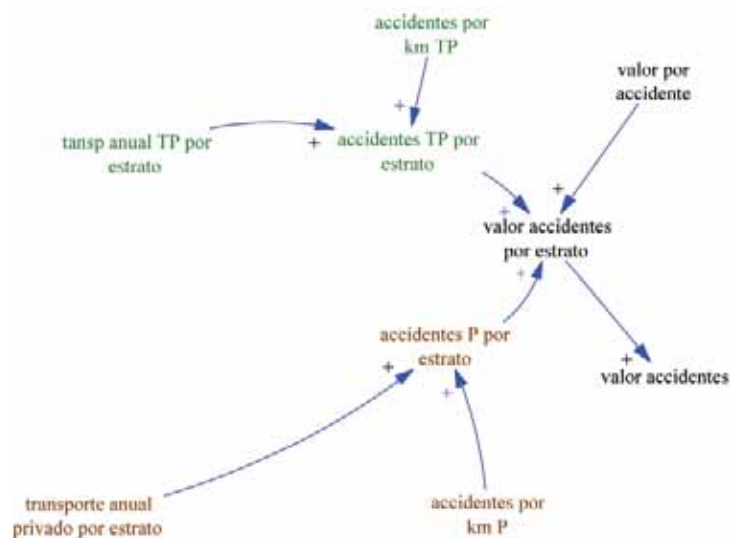
Fuente: Elaboración propia.

También se calcula el kilometraje total diario y global por modo de transporte, en función de las variables antes mostradas.

A estas alturas, se conoce entonces cómo se determina el número de viajes de cada modo de transporte, cuántas personas los utilizan y cuántos kilómetros son por día, dependiendo de las condiciones de infraestructura, la dotación de vehículos y la población.

Cada modo de transporte motorizado tiene una tasa de accidentes por kilómetro recorrido, de manera que en este segmento se determina el número de accidentes de tránsito y su valor aproximado (véase el diagrama III.20).

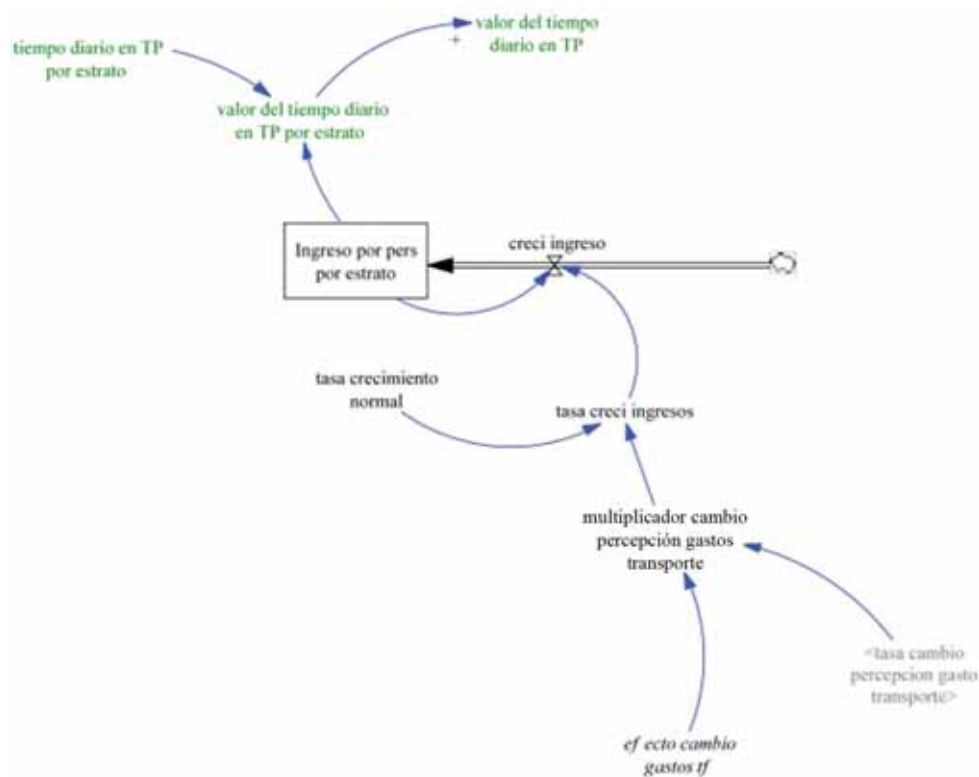
**DIAGRAMA III.20**  
**DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ACCIDENTES**



Fuente: Elaboración propia.

Por último, en función del nivel de ingresos de los distintos estratos, también se estima el valor del tiempo que las personas destinan a actividades de transporte, que muestra el diagrama III.21.

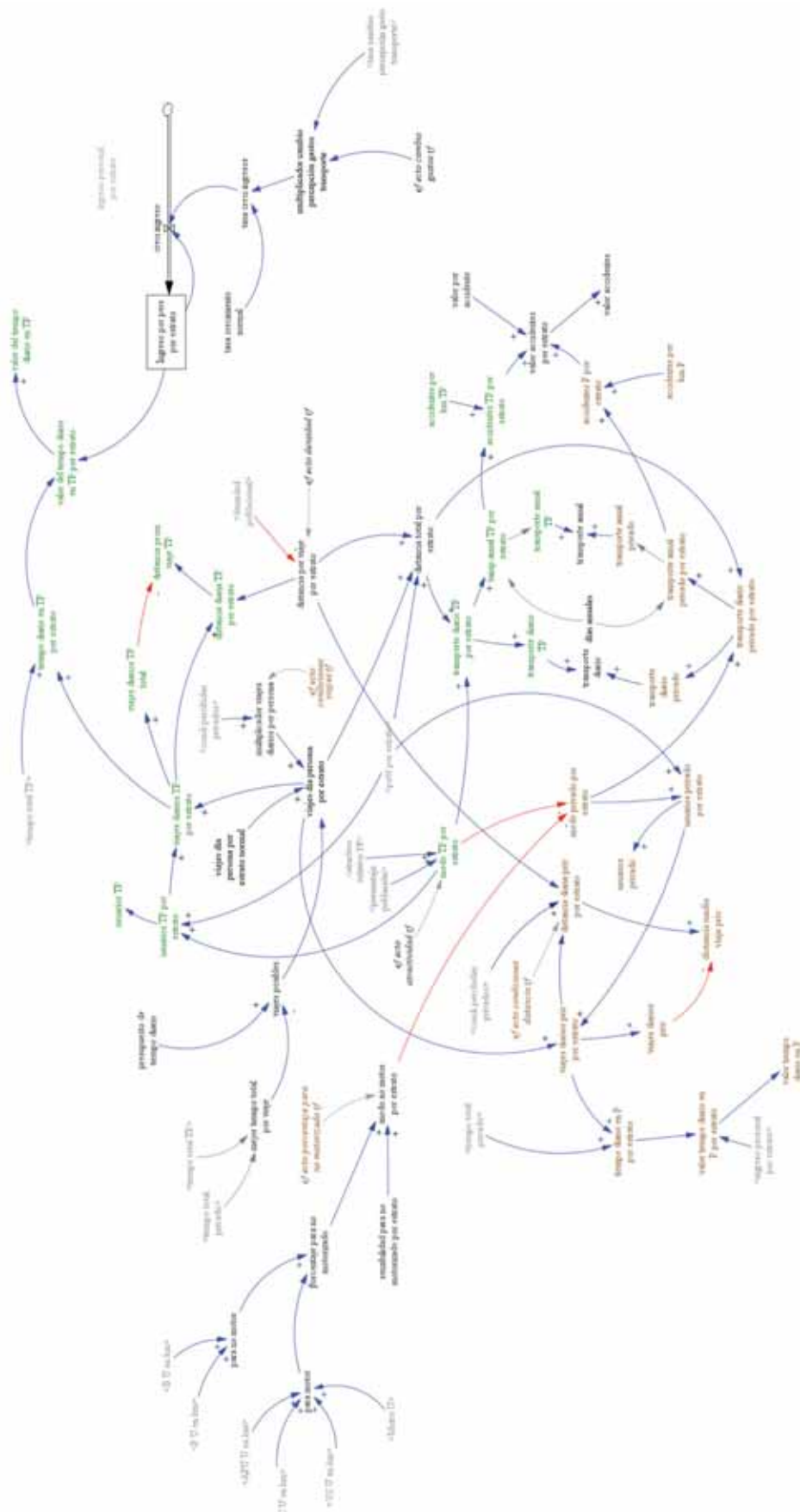
**DIAGRAMA III.21**  
**DETERMINACIÓN DEL VALOR DEL TIEMPO DESTINADO A TRANSPORTE**



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, el diagrama III.22 contiene una imagen del sector viajes en su totalidad.

**DIAGRAMA III.22**  
**EL SECTOR DE VIAJES DE TRANSPORTE**



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.7**  
**ECUACIONES DEL SECTOR VIAJES**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
accidentes P por estrato [Estratos]= accidentes por km P*transporte anual privado por estrato [Estratos]	accidentes/año	Número anual de accidentes en transporte privado	a
accidentes TP por estrato [Estratos]= accidentes por km TP*tansp anual TP por estrato [Estratos]	accidentes/año	Número anual de accidentes en transporte público	a
APU U en km= (APU U*10 000)/ancho APU/ 1 000	km	Autopistas urbanas en uso	a
atractivo relativo TP= atractivo TP/ atractivo transporte privado	Dmnl	Atractivo del transporte público en relación con el del transporte privado	a
B U en km= ((B U*10 000)/ancho B)/1 000	km	Ciclovías en uso	a
C U en km= ((C U*10 000)/ancho calle)/1 000	ha	1 000m*m/10 000	a
condi percibidas privados= prct AU/km para privados	Dmnl	Porcentaje de las vías para privados que son autopistas	a
creci ingreso [Estratos]= Ingreso por pers por estrato [Estratos]*tasa groei ingresos	CLP/año	Crecimiento anual absoluto de los ingresos	a
densidad poblacional= población total/área total en ha	personas/ha		a
días anuales= 365	días/año		a
distancia diaria priv por estrato [Estratos]= distancia por viaje por estrato [Estratos]*viajes diarios priv por estrato [Estratos]*efecto condiciones distancia tf(condi percibidas privados)	km/día	Distancia por día en transporte privado, por estrato	a
distancia diaria TP por estrato [Estratos]= distancia por viaje por estrato [Estratos]*viajes diarios TP por estrato [Estratos]	km/día	Distancia total diaria de los viajes por estrato	a
distancia por viaje por estrato [Estratos]= efecto densidad tf (densidad poblacional)	km/viaje	Distancia típica por estrato	a
distancia prom viaje TP= SUM (distancia diaria TP por estrato [Estratos!])/viajes diarios TP total	km/viaje	Distancia media de viajes	a
distancia total por estrato [Estratos]= pobl por estrato [Estratos]*viajes día persona por estrato [Estratos]*distancia por viaje por estrato [Estratos]	km/día	Distancia diaria total viajada por estrato	a
distancia prom viaje priv= SUM (distancia diaria priv por estrato [Estratos!])/viajes diarios priv	km/viaje	Distancia típica de un viaje en transporte privado	a
ingreso personal por estrato [Estratos]= 2.5e+006,1.2e+007,4e+007	CLP/año		a
mejor tiempo total por viaje= min (tiempo total privado, tiempo total TP)	horas/viaje	Tiempo por viaje más corto entre transporte público y privado	a
modo no motor por estrato [Estratos]= efecto porcentaje para no motorizado tf (porcentaje para no motorizado)*sensibilidad para no motorizado por estrato [Estratos]	Dmnl	Porcentaje de los traslados efectuados en modos de transporte no motorizado, por estrato	a
modo privado por estrato [Estratos]= 1-modo no motor por estrato [Estratos]-modo TP por estrato [Estratos]	Dmnl		a
modo TP por estrato [Estratos]= efecto atractivo tf(atractivo relativo TP)*porcentaje población	Dmnl	Porcentaje de transporte público	a

(continúa)

Cuadro III.7 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
multiplicador cambio percepción gastos transporte= efecto cambio gastos tf (tasa cambio percepción gasto transporte)	Dmnl	Efecto del cambio percibido en los gastos de transporte respecto del crecimiento de los ingresos	a
multiplicador viajes diarios por persona= efecto condiciones viajes tf (condi percibidas privados)	Dmnl		a
P U en km= ((P U*10 000)/ancho P)/1 000	km	Instalaciones para peatones en uso	a
para motor= APU U en km+C U en km+Metro U+VS U en km	km	Distancia para transporte motorizado	a
para no motor= B U en km+P U en km	km	Distancia de infraestructura para transporte no motorizado	a
pobl por estrato [bajo]= Estrato1; pobl por estrato [medio]= Estrato 2; pobl por estrato [alto]= Estrato 3;	personas	Personas en cada estrato	a
porcentaje para no motorizado= para no motor/ (para motor+para no motor)	Dmnl	Porcentaje total de las vías orientadas al transporte no motorizado	a
porcentaje población= efecto cobertura TP (cobertura TP)	Dmnl	Porcentaje de la población que habita en el área de cobertura del transporte público	a
tasa cambio percepción gasto transporte= cambio gasto transporte/Gasto transporte percibido	Dmnl	Tasa de cambio de la percepción	a
tasa creci ingresos= tasa crecimiento normal*multiplicador cambio percepción gastos transporte	Dmnl	Tasa anual de crecimiento de los ingresos de cada estrato	a
tiempo diario en P por estrato [Estratos]= viajes diarios priv por estrato [Estratos]*tiempo total privado	horas/día	Tiempo medio en transporte privado, por estrato	a
tiempo diario en TP por estrato [Estratos]= viajes diarios TP por estrato [Estratos]* tiempo total TP	horas/día	Tiempo diario en modo de transporte privado	a
tiempo total privado= tiempo de viaje privado+tiempo para estacionar	horas	Tiempo que significa un viaje en transporte privado	a
tiempo total TP= tiempo acceso TP+tiempo espera TP+tiempo viaje TP	horas	Horas por viaje en transporte público, en función de tiempo de acceso, tiempo de espera y tiempo de desplazamiento	a
transporte diario= transporte diario privado+transporte diario TP	km/día	Distancia diaria total	a
transporte diario privado= SUM (transporte diario privado por estrato [Estratos!])	km/día	Distancia diaria total en transporte privado	a
transporte diario privado por estrato [Estratos]= distancia total por estrato [Estratos]*modo privado por estrato [Estratos]	km/día	Distancia diaria total en transporte privado, por estrato	a
transporte diario TP= SUM (transporte diario TP por estrato [Estratos!])	km/día	Distancia diaria total en transporte público	a
transporte diario TP por estrato [Estratos]= distancia total por estrato [Estratos]*modo TP por estrato [Estratos]	km/día	Distancia diaria total en transporte público, por estrato	a
usuarios privado= SUM (usuarios privado por estrato [Estratos!])	personas	Cantidad de personas que usan transporte privado	a
usuarios privado por estrato [Estratos]= pobl por estrato [Estratos]*modo privado por estrato [Estratos]	personas	Cantidad de personas que usan transporte privado, por estrato	a

(continúa)



Cuadro III.7 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
usuarios TP= SUM(usuarios TP por estrato [Estratos!])	personas	Cantidad total de personas que usan modo de transporte privado	a
usuarios TP por estrato [Estratos]= pobl por estrato [Estratos]*modo TP por estrato [Estratos]	personas	Cantidad de personas en modo de transporte privado	a
valor accidentes= SUM (valor accidentes por estrato [Estratos!])	CLP/año	Valor de los accidentes anuales	a
valor accidentes por estrato [Estratos]= (accidentes P por estrato [Estratos]+accidentes TP por estrato [Estratos])*valor por accidente	CLP	Valor de los accidentes anuales, por estrato	a
valor del tiempo diario en TP= SUM (valor del tiempo diario en TP por estrato [Estratos!])	CLP/día	Valor del tiempo destinado al transporte	a
valor del tiempo diario en TP por estrato [Estratos]= Ingreso por pers por estrato [Estratos]*tiempo diario en TP por estrato [Estratos]	CLP/día	Valor del tiempo destinado al transporte, por estrato	a
valor tiempo diario en P= SUM (valor tiempo diario en P por estrato [Estratos!])	CLP/día	Valor del tiempo medio destinado al transporte privado	a
valor tiempo diario en P por estrato [Estratos]= ingreso personal por estrato [Estratos]*tiempo diario en P por estrato [Estratos]	CLP/día	Valor del tiempo medio destinado al transporte privado, por estrato	a
viajes día persona por estrato [Estratos]= min (viajes día persona por estrato normal [Estratos]*multiplicador viajes diarios por persona, viajes posibles)	viajes/ personas/ día	Cantidad de viajes diarios por persona. Depende de las condiciones percibidas sobre el transporte privado. Limitado por el presupuesto fijo de tiempo.	a
viajes diarios priv= SUM (viajes diarios priv por estrato [Estratos!])	viajes/día	Cantidad típica de viajes diarios en transporte privado	a
viajes diarios priv por estrato [Estratos]= usuarios privado por estrato [Estratos]*viajes día persona por estrato [Estratos]	viajes/día	Cantidad típica de viajes diarios en transporte privado, por estrato	a
viajes diarios TP por estrato [Estratos]= usuarios TP por estrato [Estratos]*viajes día persona por estrato [Estratos]	viajes/día	Cantidad de viajes diarios en transporte público, por estrato	a
viajes diarios TP total= SUM (viajes diarios TP por estrato [Estratos!])	viajes/día	Cantidad de viajes diarios en transporte público	a
viajes posibles= mejor tiempo total por viaje/ presupuesto de tiempo diario	viajes	Viajes posibles dentro del presupuesto diario de tiempo destinado al transporte	a
VS U en km= ((VS U*10 000)/ancho VS)/10 000	km	Vías segregadas en uso	a
tansp anual TP por estrato [Estratos]= días anuales*transporte diario TP por estrato [Estratos]	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte público, por estrato	f
transporte anual= transporte anual privado+transporte anual TP	km/año	Total distancia anual	f
transporte anual privado= SUM (transporte anual privado por estrato [Estratos!])	km/año	Suma anual de distancias recorridas en medios de transporte	f
transporte anual privado por estrato [Estratos]= días anuales*transporte diario privado por estrato [Estratos]	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte privado, por estrato	f
transporte anual TP= SUM(tansp anual TP por estrato [Estratos!])	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte público	f

(continúa)

Cuadro III.7 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
accidentes por km P= 0	accidentes/ km	Número típico de accidentes por km en transporte privado	p
accidentes por km TP= 0	accidentes/ km	Número típico de accidentes por km en transporte público	p
presupuesto de tiempo diario= 1,5	horas/día	Tiempo máximo disponible para transporte, por día	p
sensibilidad para no motorizado por estrato [Estratos]= 1	Dmnl	Predisposición de los estratos a trasladarse en bicicleta o a pie (y por lo tanto de responder a los cambios en la infraestructura para peatones, bicicletas o ambos).	p
tasa crecimiento normal= 0,03	Dmnl	Tasa anual normal de crecimiento de los ingresos de cada estrato	p
valor por accidente= 0	CLP/ accidente	Valor medio de un accidente	p
viajes día persona por estrato normal [Estratos]= 2	viajes/día/ persona	Cantidad de viajes de ida y vuelta por día, por persona, por estrato	p
Ingreso por pers por estrato [bajo]= INTEG (creci ingreso, 2,5e+006); Ingreso por pers por estrato [medio]= INTEG (creci ingreso, 1,2e+007); Ingreso por pers por estrato[alto]= INTEG (creci ingreso, 2e+007)	CLP/año	Ingreso anual medio de los estratos	s
Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso	s
efecto atractivo tf $((0,0)-(10,10])$ , (0,0611621,0,175439), (9,90826,9,82456))	Dmnl	Efectos del atractivo relativo del transporte público en este modo de transporte	tf
efecto cambio gastos tf $((0,0)-(10,1])$ , (0,0611621,0,0438596), (9,93884,0,97807))	Dmnl	Efecto de cambios de percepción sobre gastos en el crecimiento de los ingresos	tf
efecto condiciones distancia tf $((0,0)-(10,10])$ , (0,0611621,0,219298), (9,87768,9,91228))	Dmnl	Efecto de condiciones percibidas en relación con distancia de los viajes privados	tf
efecto condiciones viajes tf $((0,0)-(10,10])$ , (0,0917431,0,263158), (9,84709,9,7807))	Dmnl	Efecto de condiciones percibidas en cantidad de viajes diarios	tf
efecto densidad tf $((0,0)-(10,10])$ , (0,0,263158), (9,90826,9,69298))	Dmnl	Efecto de la densidad en la distancia por viaje	tf
efecto porcentaje para no motorizado tf $((0,0)-(10,10])$ , (0,0611621,0,131579), (9,93884,10))	Dmnl	Efecto en modos de transporte no motorizado de las condiciones viales pertinentes	tf

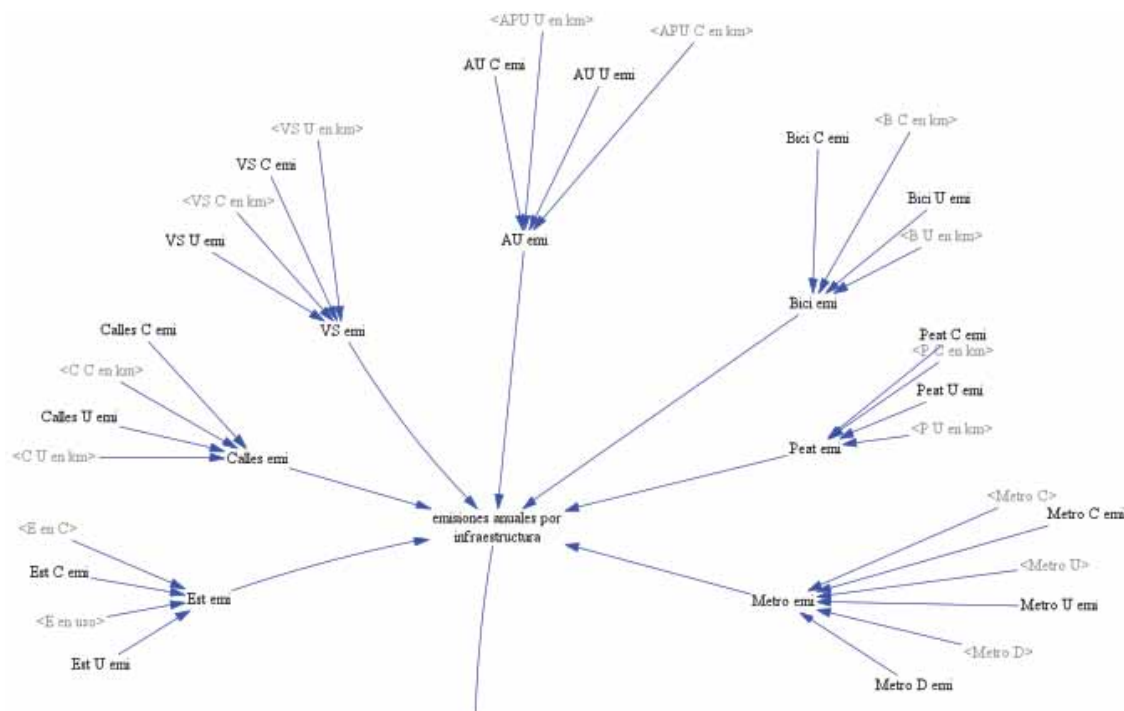
Fuente: Elaboración propia.

## G. Las emisiones

### 1. Presentación general

Las emisiones (CO<sub>2</sub>) relacionadas con el transporte son consecuencia de las actividades de construcción de infraestructura y el uso de vehículos motorizados. Las primeras se determinan en el sector uso del suelo y las segundas, en los sectores modos de transporte y viajes. El diagrama III.23 ilustra las emisiones vinculadas a la construcción.

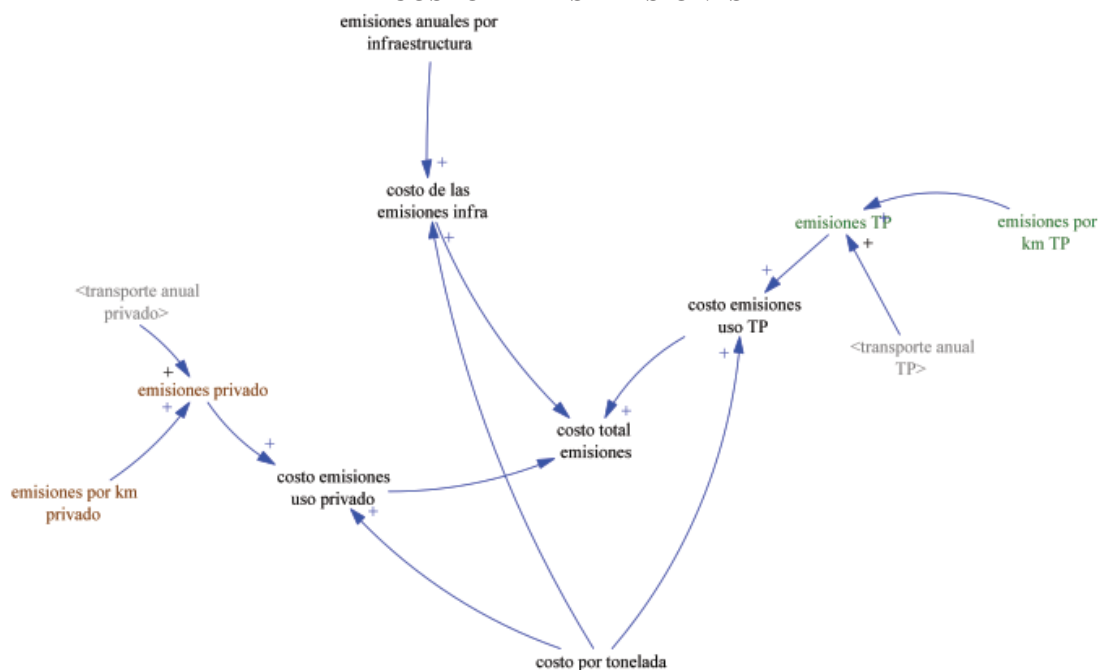
**DIAGRAMA III.23**  
**EMISIONES RELACIONADAS CON ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

A las emisiones generadas por las actividades de construcción se agregan las provocadas por el uso de vehículos y se calcula el costo de la suma de emisiones (véase el diagrama III.24).

**DIAGRAMA III.24**  
**COSTO DE LAS EMISIONES**



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.8**  
**ECUACIONES RELACIONADAS CON LAS EMISIONES**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$APU\ C\ en\ km = ((APU\ C * 10\ 000) / ancho\ APU) / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en construcción	a
$APU\ U\ en\ km = (APU\ U * 10\ 000) / ancho\ APU / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en uso	a
$AU\ emi = APU\ C\ en\ km * AU\ C\ emi + APU\ U\ en\ km * AU\ U\ emi$	t/año		a
$B\ C\ en\ km = ((B\ C * 10\ 000) / ancho\ B) / 1\ 000$	km	Ciclovías en construcción	a
$B\ U\ en\ km = ((B\ U * 10\ 000) / ancho\ B) / 1\ 000$	km	Ciclovías en uso	a
$Bici\ emi = B\ C\ en\ km * Bici\ C\ emi + B\ U\ en\ km * Bici\ U\ emi$	t/año		a
$C\ C\ en\ km = ((C\ C * 10\ 000) / ancho\ calle) / 1\ 000$	****	Calles en construcción	a
$C\ U\ en\ km = ((C\ U * 10\ 000) / ancho\ calle) / 1\ 000$	ha	1 000m*m/10 000	a
$Calles\ emi = C\ C\ en\ km * Calles\ C\ emi + C\ U\ en\ km * Calles\ U\ emi$	t/año		a
costo de las emisiones infra= costo por tonelada*emisiones anuales por infraestructura	CLP/año	Costo de las emisiones anuales	a
costo emisiones uso privado= costo por tonelada*emisiones privado	CLP/año	Costo anual de emisiones privadas	a
costo emisiones uso TP= costo por tonelada*emisiones TP	CLP/año	Costo anual de emisiones del transporte público	a
costo por tonelada= 5 000	CLP/t/año		a
costo total emisiones= costo de las emisiones infra+costo emisiones uso privado+costo emisiones uso TP	CLP/año	Costo anual de las emisiones por transporte e infraestructura	a
emisiones anuales por infraestructura= AU emi+Bici emi+Calles emi+Est emi+Metro emi+Peat emi+VS emi	t/año	Emisiones anuales	a
emisiones privado= transporte anual privado*emisiones por km privado	t/año		a
emisiones TP= emisiones por km TP*transporte anual TP	t/año		a
$Est\ emi = E\ en\ C * Est\ C\ emi + E\ en\ uso * Est\ U\ emi$	t/año		a
$Metro\ emi = Metro\ C * Metro\ C\ emi + Metro\ U * Metro\ U\ emi + Metro\ D * Metro\ D\ emi$	t/año		a
$P\ C\ en\ km = ((P\ C * 10\ 000) / ancho\ P) / 1\ 000$	km	Instalaciones para peatones en construcción	a
$P\ U\ en\ km = ((P\ U * 10\ 000) / ancho\ P) / 1\ 000$	km	Instalaciones para peatones en uso	a
$Peat\ emi = P\ C\ en\ km * Peat\ C\ emi + P\ U\ en\ km * Peat\ U\ emi$	t/año		a
$VS\ C\ en\ km = ((VS\ C * 10\ 000) / ancho\ VS) / 10\ 000$	km	Vías segregadas en construcción	a
$VS\ emi = VS\ C\ emi * VS\ C\ en\ km + VS\ U\ emi * VS\ U\ en\ km$	t/año		a
$VS\ U\ en\ km = ((VS\ U * 10\ 000) / ancho\ VS) / 10\ 000$	km	Vías segregadas en uso	a

(continúa)

Cuadro III.8 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
transporte anual privado= SUM (transporte anual privado por estrato [Estratos!])	km/año	Suma anual de distancias recorridas en medios de transporte	f
transporte anual TP= SUM (tansp anual TP por estrato [Estratos!])	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte público	f
AU C emi= 1	t/km/año		p
AU U emi= 1	t/km/año		p
Bici C emi= 1	t/km/año		p
Bici U emi= 1	t/km/año		p
Calles C emi= 1	t/km/año		p
Calles U emi= 1	t/km/año		p
emisiones por km privado= 180	ppm/km	Emisiones por kilómetro en transporte privado	p
emisiones por km TP= 200	ppm/km	Emisiones por kilómetro en transporte público	p
Est C emi= 1	t/km/año		p
Est U emi= 1	t/km/año		p
Metro C emi= 1	t/km/año		p
Metro D emi= 1	t/km/año		p
Metro U emi= 1	t/km/año		p
Peat C emi= 1	t/km/año		p
Peat U emi= 1	t/km/año		p
VS C emi= 1	t/km/año		p
VS U emi= 1	t/km/año		p
E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s
Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción	s
Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición	s
Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso	s

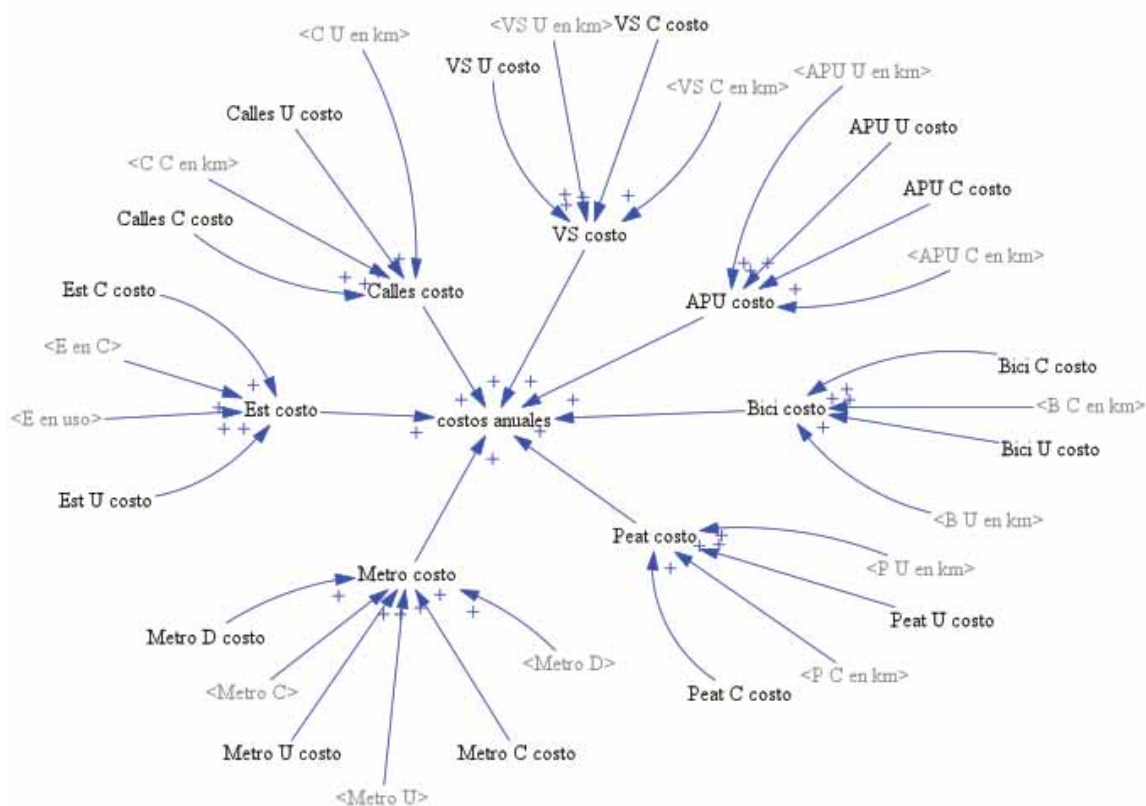
Fuente: Elaboración propia.

## H. Costos de construcción

### 1. Presentación general

Los costos de construcción son consecuencia de la edificación y uso de los diferentes tipos de vías (véase el diagrama III.25).

**DIAGRAMA III.25**  
**COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**



Fuente: Elaboración propia.

Para cada tipo de infraestructura y uso de ella (debido al mantenimiento), se supone un factor de costo.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.9**  
**ECUACIONES DE COSTOS DE CONSTRUCCIÓN**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$APU\ C\ en\ km = ((APU\ C * 10\ 000) / ancho\ APU) / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en construcción	a
$APU\ costo = APU\ C\ en\ km * APU\ C\ costo + APU\ U\ en\ km * APU\ U\ costo$	MCLP/año	Costo autopistas urbanas	a
$APU\ U\ en\ km = (APU\ U * 10\ 000) / ancho\ APU / 1\ 000$	km	Autopistas urbanas en uso	a
$B\ C\ en\ km = ((B\ C * 10\ 000) / ancho\ B) / 1\ 000$	km	Ciclovías en construcción	a
$B\ U\ en\ km = ((B\ U * 10\ 000) / ancho\ B) / 1\ 000$	Km	Ciclovías en uso	a
$Bici\ costo = B\ C\ en\ km * Bici\ C\ costo + B\ U\ en\ km * Bici\ U\ costo$	MCLP/año	Costo ciclovías	a
$C\ C\ en\ km = ((C\ C * 10\ 000) / ancho\ calle) / 1\ 000$	****	Calles en construcción	a
$C\ U\ en\ km = ((C\ U * 10\ 000) / ancho\ calle) / 1\ 000$	ha	1 000m*m/10 000	a
$Calles\ costo = C\ C\ en\ km * Calles\ C\ costo + C\ U\ en\ km * Calles\ U\ costo$	MCLP/año	Costo calles	a

(continúa)

Cuadro III.9 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
costos anuales= APU costo+Bici costo+Calles costo+Est costo+Metro costo+Peat costo+VS costo	MCLP/año	Costos anuales de las vías	a
Est costo= E en C*Est C costo+E en uso*Est U costo	MCLP/año	Costo estacionamientos	a
Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción	a
Metro costo= Metro C*Metro C costo+Metro U*Metro U costo+Metro D*Metro D costo	MCLP/año	Costo del metro	a
P C en km= ((P C*10 000)/ancho P)/1 000	km	Instalaciones para peatones en construcción	a
P U en km= ((P U*10 000)/ancho P)/1 000	km	Instalaciones para peatones en uso	a
Peat costo= P C en km*Peat C costo+P U en km*Peat U costo	MCLP/año	Costo de infraestructura para peatones	a
VS C en km= ((VS C*10 000)/ancho VS)/ 10 000	km	Vías segregadas en construcción	a
VS costo= VS C costo*VS C en km+VS U costo*VS U en km	MCLP/año	Costo vías segregadas	a
VS U en km= ((VS U*10 000)/ancho VS)/ 10 000	km	Vías segregadas en uso	a
APU C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción autopistas urbanas	p
APU U costo= 1	MCLP/km/ año	Costo de autopistas urbanas en uso	p
Bici C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción ciclovías	p
Bici U costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de ciclovías en uso	p
Calles C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción calles	p
Calles U costo= 1	MCLP/km/ año	Costo de calles en uso	p
Est C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción estacionamientos	p
Est U costo= 1	MCLP/km/ año	Costo de estacionamientos en uso	p
Metro C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción metro	p
Metro D costo= 1	MCLP/km/ año	MCLP/km/año	p
Metro U costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de metro en uso	p
Peat C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción instalaciones para peatones	p
Peat U costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de instalaciones para peatones en uso	p
VS C costo= 1	MCLP/km/ año	Costos de construcción vías segregadas	p
VS U costo= 1	MCLP/km/ año	Costo de vías segregadas en uso	p
E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s
Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición	s
Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50) v	km	Metro en uso	s

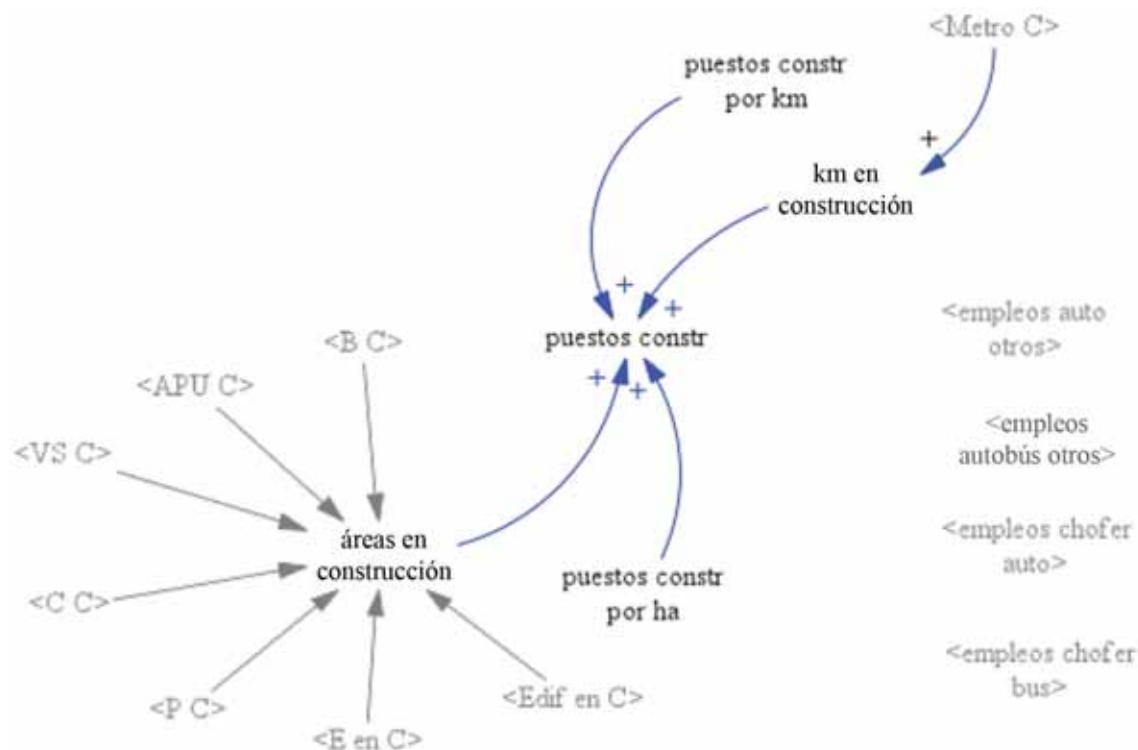
Fuente: Elaboración propia.

## I. El empleo

### 1. Presentación general

Se trata de un sector simple, representado en el diagrama C.26, cuya función es reunir los diversos tipos de empleo que se generan a partir del transporte.

**DIAGRAMA III.26**  
**TIPOS DE EMPLEO**



Fuente: Elaboración propia.

Por una parte, los empleos dependen de las actividades de construcción y, por otra, del uso de los vehículos.



## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.10**  
**ECUACIONES RELACIONADAS CON EL EMPLEO**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
áreas en construcción= $APU + B + C + C + E$ en $C + Edif$ en $C + P + VS + C$	ha	Total de áreas en construcción	a
km en construcción= Metro C	km		a
puestos constr= áreas en construcción*puestos constr por ha+km en construcción*puestos constr por km	puestos	Total de puestos de trabajo en las diversas obras de construcción	a
puestos constr por ha= 2	puestos/ha		p
puestos constr por km= 1	puestos/km		p
$APU + C = INTEG$ (trans Edi en $APU + transf C + APU$ inicio-apu lista, 0)	ha	Superficie de autopistas urbanas en construcción	s
$B + C = INTEG$ (trans C B-b lista, 0)	ha	Superficie de ciclovías en construcción	s
$C + C = INTEG$ (trans V C inicio+transf $APU + C + transf B + C + transf Est + C + transf P + C + transf VS + C - c$ lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción	s
$E + en C = INTEG$ (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s
$Edif + en C = INTEG$ (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción	s
$Metro + C = INTEG$ (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción	s
$P + C = INTEG$ (trans C P inicio-p lista, 0)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en construcción	s
$VS + C = INTEG$ (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de vías segregadas en construcción	s

Fuente: Elaboración propia.

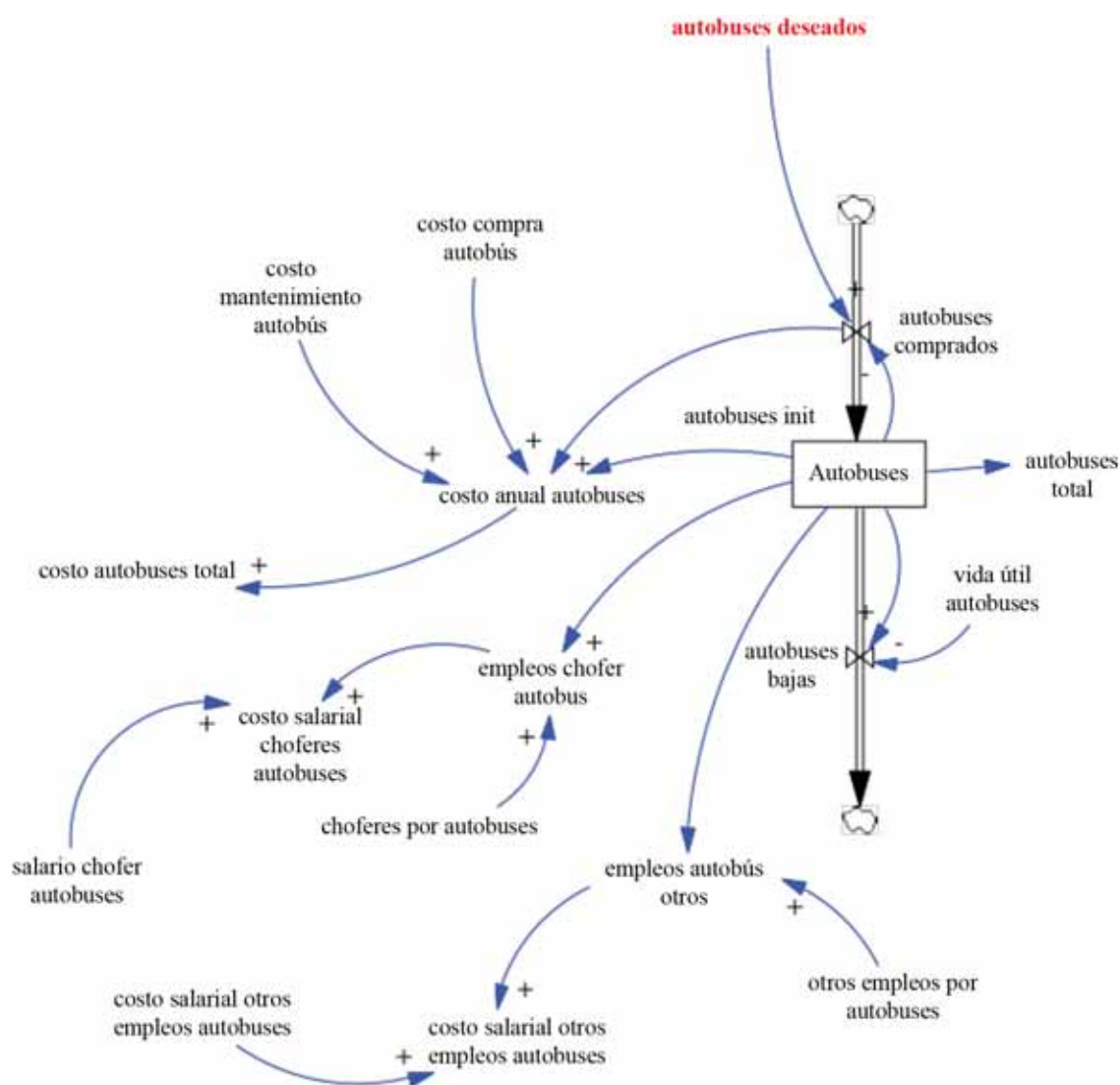
## J. Los vehículos

### 1. Presentación general

En el sector se distinguen dos clases de vehículos —autobuses y automóviles—, dentro de las cuales hay diferentes tipos. Los autobuses pueden ser pequeños, medianos o grandes (con un número diferente de pasajeros por vehículo), mientras que los automóviles pueden ser particulares, colectivos o taxis (y pertenecen entonces al transporte público o privado).

Sin importar la clase de que se trate, los vehículos se comportan bajo la misma lógica, ejemplificada en el diagrama III.27 con los autobuses.

**DIAGRAMA C.27**  
**LOS AUTOBUSES**



Fuente: Elaboración propia.

La cantidad de autobuses existente se compara con el número deseado de ellos —variable de decisión— y de existir una diferencia se compran autobuses, lo que genera un costo. Por otra parte, al tener autobuses hay costos de mantenimiento y es preciso emplear choferes y pagarles su respectivo salario; también deben contratarse mecánicos para realizar las mantenciones. Según la vida útil de estos vehículos, se dan de baja, por lo cual es necesario adquirir otros en su reemplazo.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.11**  
**ECUACIONES RELACIONADAS CON LOS VEHÍCULOS**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
autos deseados [Particular]= (autos deseados 1+autos deseados 2+autos deseados 3); autos deseados [Taxi]= 10 000; autos deseados [Colectivo]= 20 000	autos	Cantidad de autos deseados	a
autos deseados1= Estrato1*motorización 1	autos	Cantidad de autos (privados) deseados en el primer estrato	a
autos deseados2= Estrato2*motorización 2	autos	Tasa de motorización del segundo estrato	a
autos deseados3= Estrato3*motorización 3	autos	Cantidad de autos (privados) deseados en el tercer estrato	a
autobuses deseados [Vehículo Grande]= 2 000, 3 000, 500	autobuses	Cantidad de autobuses deseados	a
autobuses init [Vehículo Grande]= 2 000, 3 000, 500	autobuses		a
autobuses total= SUM(Autobuses [Vehículo Grande!])	autobuses	Cantidad total de autobuses	a
choferes por auto [Vehículo Chico]= 0,1,1	empleos/auto	Cantidad de choferes por auto	a
costo anual autos [Vehículo Chico]= (compras [Vehículo Chico]*costo compra auto [Vehículo Chico])+(Vehículos chicos [Vehículo Chico]*costo mantenimiento auto [Vehículo Chico])	CLP/año	Costo anual por compra y mantenimiento	a
costo anual autobuses [Vehículo Grande]= autobuses comprados [Vehículo Grande]*costo compra autobús [Vehículo Grande]+Autobuses [Vehículo Grande]*costo mantenimiento autobús [Vehículo Grande]	CLP/año	Costo anual por compra y mantenimiento	a
costo total autos= SUM (costo anual autos [Vehículo Chico!])	****		a
costo total autobuses= SUM (costo anual autobuses [Vehículo Grande!])	CLP/año	Costo anual total de autobuses	a
costo compra auto [Vehículo Chico]= 1e+007, 6e+006, 8e+006	CLP/auto	Precio de un automóvil	a
costo compra autobús [Vehículo Grande]= 2e+007, 3,5e+007, 5e+007	CLP	Precio de un autobús	a
costo mantenimiento auto [Vehículo Chico]= 100 000, 100 000, 100 000	CLP/Auto/año	Costo anual de mantenimiento de un automóvil	a
costo mantenimiento autobús [Vehículo Grande]= 3e+006,4e+006,5e+006	CLP/año	Costo anual de mantenimiento de un autobús	a
costo salarial auto otros= SUM (empleos auto otros [Vehículo Chico!])*salario auto otros	CLP/año	Salarios de otros puestos de trabajo	a
costo salarial choferes auto= SUM (empleos chofer auto [Vehículo Chico!])*salario chofer auto	CLP/año	Salarios de los choferes	a
costo salarial choferes autobús= salario chofer autobús* empleos chofer autobús	CLP/año	Salarios de los choferes de autobús	a
costo salarial otros empleos autobuses= empleos autobús otros* costo salarial otros empleos autobuses	CLP/año	Salarios de otros empleos	a
costo salarial otros empleos autobuses= 2e+006	CLP/empleo/año	Salario por puesto de otros empleos	a
empleos auto otros [Vehículo Chico]= Vehículos chicos [Vehículo Chico]*otros empleos por autos [Vehículo Chico]	empleos	Cantidad de otros puestos de trabajo	a

(continúa)

Cuadro III.11 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
empleos autobús otros= SUM (Autobuses [Vehículo Grande!])* otros empleos por autobuses	empleos	Cantidad de otros empleos	a
empleos chofer auto [Vehículo Chico]= Vehículos chicos [Vehículo Chico]* choferes por auto [Vehículo Chico]	empleos	Cantidad de puestos de chofer	a
empleos chofer autobús= SUM (Autobuses [Vehículo Grande!])* choferes por autobús	empleos	Puestos de chofer de autobús	a
otros empleos por autos [Vehículo Chico]= 0,01, 0,01, 0,01	empleos/auto	Cantidad de otros puestos de trabajo por auto	a
otros empleos por autobuses= 0,01	empleos/ autobús	Cantidad de otros puestos de trabajo, por autobús	a
salario auto otros= 2e+006	CLP/año	Salario de cada uno de los demás puestos de trabajo	a
salario chofer auto= 2,5e+006	CLP/empleo/ año	Salario de un chofer	a
salario chofer autobús= 2,5e+006	CLP/empleo/ año	Salario de un chofer de autobús	a
Vehículos chicos [Vehículo Chico]= INTEG (compras [Vehículo Chico]-bajas [Vehículo Chico], 300 000)	autos	Cantidad de autos (tres tipos)	a
bajas [Vehículo Chico]= Vehículos chicos [Vehículo Chico]/vida útil autos [Vehículo Chico]	autos/año	Autos dados de baja	f
autobuses bajas [Vehículo Grande]= Autobuses [Vehículo Grande]/vida útil autobuses [Vehículo Grande]	autobuses/año	Cantidad de autobuses dados de baja	f
autobuses comprados [Vehículo Grande]= (autobuses deseados [Vehículo Grande]- Autobuses [Vehículo Grande])	autobuses/año	Simple corrección de diferencia; se supone que demora es inferior a un año y no se anticipa a baja de los autobuses para el próximo año. No es realista, pero puede corregirse más adelante.	f
compras[Vehículo Chico]= (autos deseados [Vehículo Chico]-Vehículos chicos [Vehículo Chico])	autos/año	Autos comprados (misma simplificación que para compra de autobuses)	f
choferes por autobús= 1,01	empleos/ autobuses	empleos/autobuses	p
vida útil autos [Vehículo Chico]= 4,10,8	año	Vida útil de automóviles	p
vida útil autobuses [Vehículo Grande]= 20,15,10	año	Vida útil media de un autobús	p
Autobuses [Vehículo Grande]= INTEG (autobuses comprados [Vehículo Grande]-autobuses bajas [Vehículo Grande], autobuses init [Vehículo Grande])	autobuses	Cantidad de autobuses (por tipo)	s

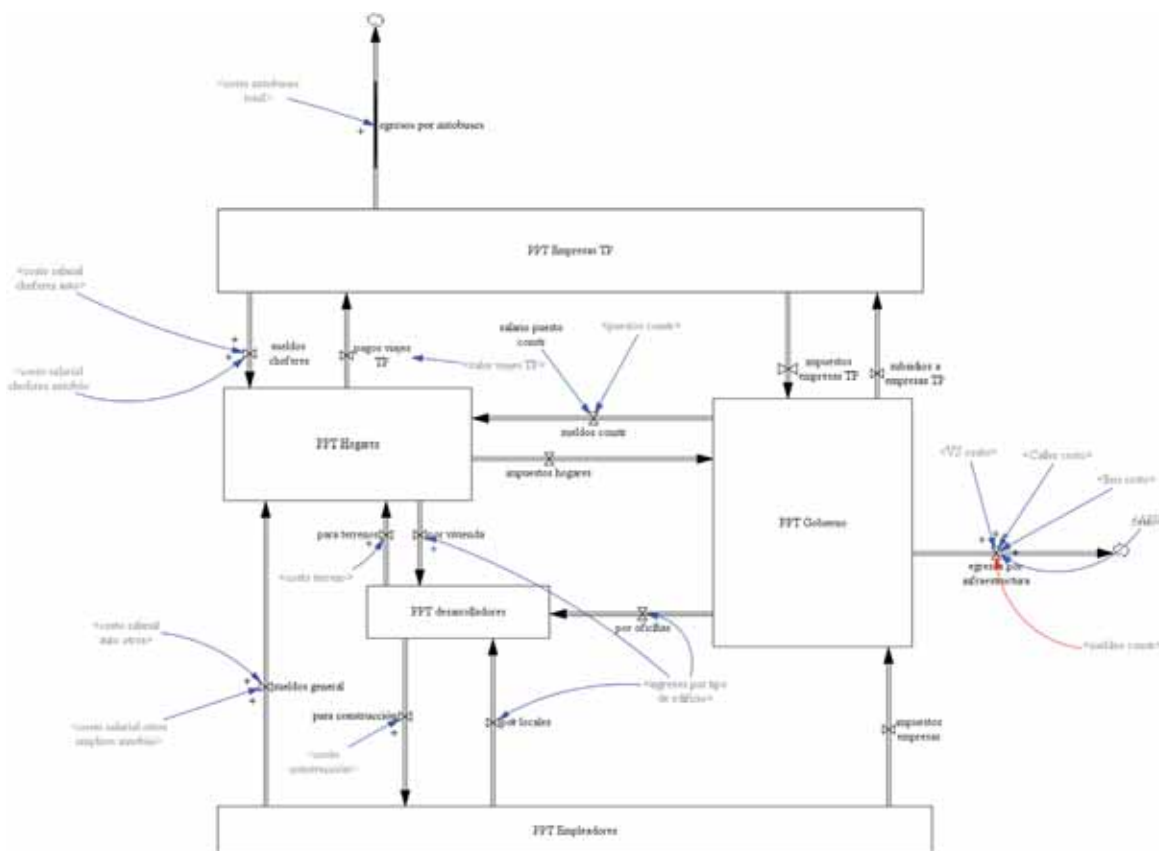
Fuente: Elaboración propia.

## K. El dinero

### 1. Presentación general

La ciudad dispone de un sistema cerrado de circulación de dinero para los efectos del transporte y la construcción de edificios, en que están representadas todas las transferencias de dinero efectuadas por medio de sueldos, pagos e impuestos.

### DIAGRAMA III.28 TRANSFERENCIAS DE DINERO



Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama III.28 se distingue entre empresas de transporte, hogares, gobierno, empresas constructoras y otras empresas, cuyos presupuestos (PPT) se representan como acumulaciones conectadas por diversos flujos de dinero. Las empresas de transporte reciben pagos de sus pasajeros y subsidios del gobierno. En el supuesto de que haya tal subsidio, este puede ser una alternativa para la compensación recíproca (trade-off) entre la reducción del atractivo relativo por pérdida de cobertura y la baja de este a causa de las tarifas más altas, a fin de recuperar el costo de los autobuses y paraderos adicionales.

El gobierno recibe impuestos, paga subsidios y solventa los costos de construcción, mantenimiento y destrucción de la infraestructura de transporte. Los hogares reciben salarios y gastan en vivienda, transporte público e impuestos. Las empresas constructoras cobran por la venta de edificios (a los particulares y a otras empresas) y también pagan salarios e impuestos.

Hasta el momento, no se ha definido cómo integrar el valor de los accidentes. Para reflejar el hecho de que las víctimas pagan una parte del proceso (costos médicos y hospitalarios) y que otra la solventa una empresa de seguros (sea privada o estatal), sería necesario incorporar a otros actores económicos (con sus respectivos presupuestos).

El valor del tiempo constituye más bien un costo de oportunidad que no se traduce en un flujo de dinero. De manera similar, el costo de las emisiones no es absorbido por ninguno de los actores locales, de manera que no aparece como flujo de dinero.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.12**  
**ECUACIONES DE COSTOS**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$APU \text{ costo} = APU \text{ C en km} * APU \text{ C costo} + APU \text{ U en km} * APU \text{ U costo}$	MCLP/año	Costo autopistas urbanas	a
$Bici \text{ costo} = B \text{ C en km} * Bici \text{ C costo} + B \text{ U en km} * Bici \text{ U costo}$	MCLP/año	Costo ciclovías	a
$Calles \text{ costo} = C \text{ C en km} * Calles \text{ C costo} + C \text{ U en km} * Calles \text{ U costo}$	MCLP/año	Costo calles	a
$\text{costo autobuses total} = \text{SUM}(\text{costo anual autobuses [Vehículo Grande!]})$	CLP/año	Costo anual total de autobuses	a
$\text{costo construcción} = \text{Edif en C} * \text{costo anual constr por ha}$	CLP/año		a
$\text{costo salarial auto otros} = \text{SUM}(\text{empleos auto otros [Vehículo Chico!]}) * \text{salarario auto otros}$	CLP/año	Salarios para otros puestos de trabajo	a
$\text{costo salarial choferes auto} = \text{SUM}(\text{empleos chofer auto [Vehículo Chico!]}) * \text{salarario chofer auto}$	CLP/año	Salarios de los choferes	a
$\text{costo salarial choferes autobús} = \text{salarario chofer autobús} * \text{empleos chofer autobús}$	CLP/año	Salarios de los choferes de autobús	a
$\text{costo salarial otros empleos autobús} = \text{empleos autobús otros} * \text{costo salarial otros empleos autobús}$	CLP/año	Salarios de otros empleos	a
$\text{costo terreno} = \text{edif inicio} * \text{precio terreno por ha}$	CLP/año		a
$\text{egresos por autobuses} = \text{costo total autobuses}$	CLP/año		a
$\text{egresos por infraestructura} = APU \text{ costo} + Bici \text{ costo} + Calles \text{ costo} + VS \text{ costo-sueldos constr}$	CLP/año	Pagos por construcción de vías	a
$\text{ingresos por tipo de edificio [TipoEdificio]} = \text{edif listo} * \text{precio venta ha}$	CLP/año	Ingresos por venta de edificios (por tipo)	a
$\text{pagos viajes TP} = \text{valor viajes TP}$	CLP/año	Pagos por pasajes	a
$\text{para construcción} = \text{costo construcción}$	CLP/año	Pagos por construcciones	a
$\text{para terrenos} = \text{costo terreno}$	CLP/año	Pagos por compra de terrenos	a
$\text{por locales} = \text{ingresos por tipo de edificio [Empresa]}$	CLP/año	Pagos por compra de locales	a
$\text{por oficinas} = \text{ingresos por tipo de edificio [Gobierno]}$	CLP/año	Pagos por compra de oficinas	a
$\text{por vivienda} = \text{ingresos por tipo de edificio [Vivienda]}$	CLP/año	Pagos por compra de viviendas	a
$\text{puestos constr} = \text{áreas en construcción} * \text{puestos constr por ha} + \text{km en construcción} * \text{puestos constr por km}$	puestos	Total de puestos de trabajo en las diversas obras de construcción	a
$\text{sueldos choferes} = \text{costo salarial choferes autobús} + \text{costo salarial choferes auto}$	CLP/año	Pagos anuales de sueldos de choferes	a
$\text{sueldos constr} = \text{puestos constr} * \text{salarario puesto constr}$	CLP/año	Pago de sueldos por construcción	a
$\text{sueldos general} = \text{costo salarial otros empleos autobús} + \text{costo salarial auto otros}$	CLP/año	Pago de otros sueldos	a
$\text{valor viajes TP} = \text{viajes} * \text{tarifa TP}$	CLP/año		a
$VS \text{ costo} = VS \text{ C costo} * VS \text{ C en km} + VS \text{ U costo} * VS \text{ U en km}$	MCLP/año	Costo vías segregadas	a
$\text{impuestos empresas} = 0$	CLP/año	Pago de impuestos por parte de otras empresas	p
$\text{impuestos empresas TP} = 0$	CLP/año	Pago de impuestos por parte de empresas de transporte público	p
$\text{impuestos hogares} = 0$	CLP/año	Pago de impuestos desde los hogares	p
$\text{salarario puesto constr} = 1e+006$	CLP/año/ puesto	CLP/año/puesto	p
$\text{subsídios a empresas TP} = 0$	CLP/año	Pago de subsidios a empresas de transporte público	p
$\text{PPT desarrolladores} = \text{INTEG}(\text{por locales} + \text{por oficinas} + \text{por vivienda} + \text{para construcción} + \text{para terrenos}, 0)$	CLP	Saldo de dinero de las empresas de desarrollo	s

(continúa)

Cuadro III.12 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
PPT Empleadores= INTEG (para construcción-impuestos empresas-por locales-sueldos general, 0)	CLP	Saldo de dinero de las otras empresas	s
PPT Empresas TP= INTEG (pagos viajes TP+subsídios a empresas TP-egresos por autobuses-impuestos empresas TP-sueldos choferes, 0)	CLP	Saldo de dinero de las empresas de transporte público	s
PPT Gobierno= INTEG (impuestos empresas+impuestos empresas TP+impuestos hogares-egresos por infraestructura-por oficinas-subsídios a empresas TP-sueldos constr, 0)	CLP	Saldo de dinero del gobierno	s
PPT Hogares= INTEG (para terrenos+sueldos choferes+sueldos constr+sueldos general-impuestos hogares-pagos viajes TP-por vivienda, 0)	CLP	Saldo de dinero de los hogares	s

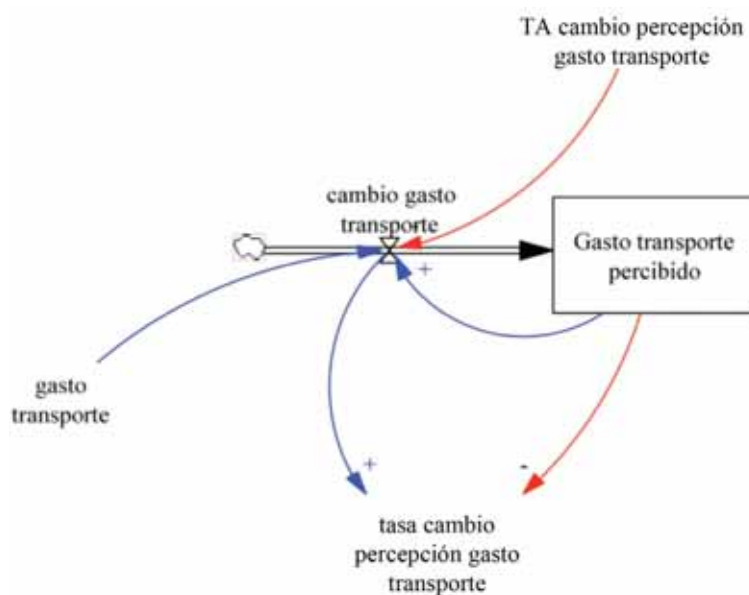
Fuente: Elaboración propia.

## L. Gastos de transporte

### 1. Presentación general

¿Qué harían las personas con los fondos que no destinan a la compra de automóviles si deciden reorientar su conducta de transporte? Se cree que parte de este dinero se gastaría de una manera que contribuye a fomentar el crecimiento productivo local, impulsando también así el aumento de los ingresos (representado en el sector modos de transporte). El diagrama III.29 ilustra cómo se forma la percepción del gasto de transporte.

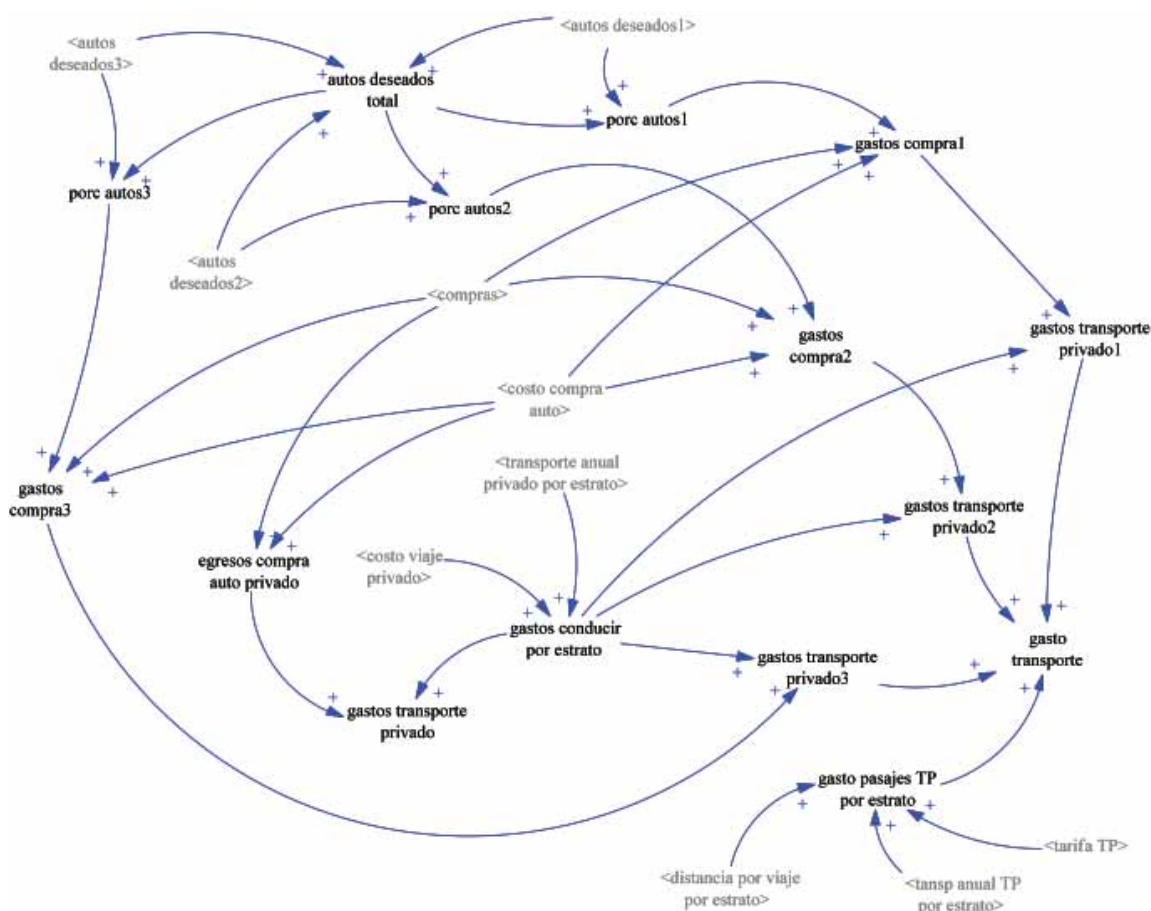
**DIAGRAMA III.29**  
**PERCEPCIÓN DEL GASTO DE TRANSPORTE**



Fuente: Elaboración propia.

El gasto de transporte depende de una serie de factores, representados en el diagrama III.30.

**DIAGRAMA III.30**  
**FACTORES QUE INFLUYEN EN EL GASTO DE TRANSPORTE**



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.13**  
**ECUACIONES DE GASTOS DE TRANSPORTE**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
$\text{autos deseados total} = \text{autos deseados 1} + \text{autos deseados 2} + \text{autos deseados 3}$	autos	Cantidad total de autos (privados) deseados	a
$\text{autos deseados 1} = \text{Estrato 1} * \text{motorización 1}$	autos	Cantidad de autos (privados) deseados en el primer estrato	a
$\text{autos deseados 2} = \text{Estrato 2} * \text{motorización 2}$	autos	Tasa de motorización del segundo estrato	a
$\text{autos deseados 3} = \text{Estrato 3} * \text{motorización 3}$	autos	Cantidad de autos (privados) deseados en el tercer estrato	a
$\text{cambio gasto transporte} = (\text{gasto transporte} - \text{Gasto transporte percibido}) / \text{TA cambio percepción gasto transporte}$	CLP/año/año	Cambio de la percepción de gastos de transporte	a
$\text{costo compra auto [Vehículo Chico]} = 1e+007,6e+006,8e+006$	CLP/auto	Precio de un automóvil	a

(continúa)



Cuadro III.13 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
costo viaje privado= cobro tránsito por km+costo carburante por ltr/consumo carburante por km	CLP/km	Costo medio por km conducido	a
distancia por viaje por estrato [Estratos]= efecto densidad tf (densidad poblacional)	km/viaje	Distancia típica por estrato	a
egresos compra auto privado= (compras [Vehículo Chico]*costo compra auto [Vehículo Chico])	CLP/año	Gasto total por compra de automóviles	a
gasto pasajes TP por estrato [Estratos]= (tansp anual TP por estrato [Estratos]/distancia por viaje por estrato [Estratos])*tarifa TP	CLP/año	Monto desembolsado por pasajes en transporte público, por estrato	a
gasto transporte= SUM (gasto pasajes TP por estrato [Estratos!])+gastos transporte privado1+gastos transporte privado 2+gastos transporte privado 3	CLP/año	Total gastos de transporte	a
Gasto transporte percibido= INTEG (cambio gasto transporte, gasto transporte)	CLP/año	Gastos de transporte percibidos	a
gastos compra 1= compras [Vehículo Chico]* porc autos 1*costo compra auto [Vehículo Chico]	CLP/año	Gastos por compra de autos en el primer estrato	a
gastos compra 2= compras [Vehículo Chico]* porc autos 2*costo compra auto [Vehículo Chico]	CLP/año	Gastos por compra de autos en el segundo estrato	a
gastos compra 3= compras [Vehículo Chico]* porc autos 3*costo compra auto [Vehículo Chico]	CLP/año	Gastos por compra de autos en el tercer estrato	a
gastos conducir por estrato [Estratos]= costo viaje privado*transporte anual privado por estrato [Estratos]	CLP/año	Gastos por manejar	a
gastos transporte privado= egresos compra auto privado+SUM (gastos conducir por estrato [Estratos!])	CLP/año	Total gastos de transporte	a
gastos transporte privado 1= gastos compra 1+ gastos conducir por estrato [bajo]	CLP/año	Gastos de transporte en el primer estrato	a
gastos transporte privado 2= gastos compra 2+ gastos conducir por estrato [medio]	CLP/año	Gastos de transporte en el segundo estrato	a
gastos transporte privado 3= gastos compra 3+ gastos conducir por estrato[alto]	CLP/año	Gastos de transporte en el tercer estrato	a
porc autos 1= autos deseados 1/autos deseados total	Dmnl	Porcentaje de autos adquiridos cuyos compradores pertenecen al primer estrato	a
porc autos 2= autos deseados 2/autos deseados total	Dmnl	Porcentaje de autos adquiridos cuyos compradores pertenecen al segundo estrato	a
porc autos 3= autos deseados 3/autos deseados total	Dmnl	Porcentaje de autos adquiridos cuyos compradores pertenecen al tercer estrato	a
tasa cambio percepción gasto transporte= cambio gasto transporte/Gasto transporte percibido	Dmnl	Tasa de cambio de la percepción	a
compras [Vehículo Chico]= (autos deseados [Vehículo Chico]-Vehículos chicos [Vehículo Chico])	autos/año	Autos comprados (misma simplificación que para compra de autobuses)	f
tansp anual TP por estrato [Estratos]= días anuales*transporte diario TP por estrato [Estratos]	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte público, por estrato	f
transporte anual privado por estrato [Estratos]= días anuales*transporte diario privado por estrato [Estratos]	km/año	Total distancia anual recorrida en transporte privado, por estrato	f
TA cambio percepción gasto transporte= 1	año	Demora de la percepción	p
tarifa TP= 400	CLP/viaje	Tarifa de un pasaje típico	p

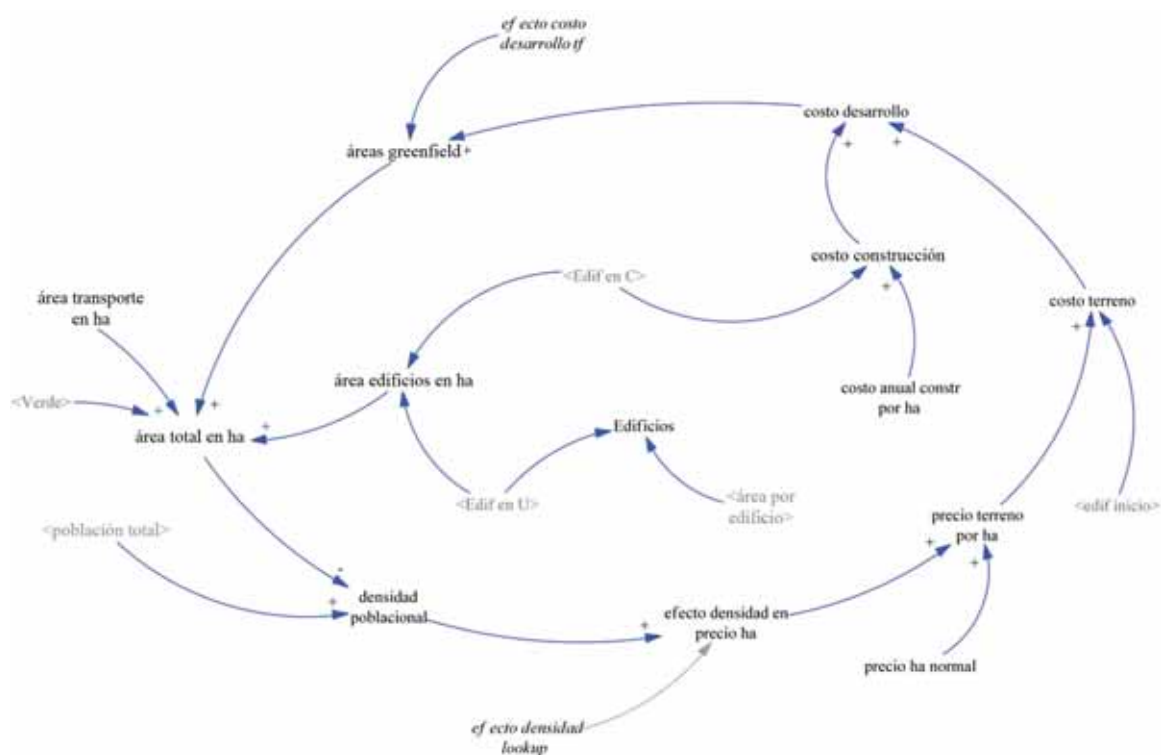
Fuente: Elaboración propia.

## M. Expansión del área urbana

### 1. Presentación general

Entre los efectos del aumento de la densidad poblacional en la ciudad se cuenta el incremento de los costos de desarrollo (compra de terrenos, edificación). Se incentiva entonces la ubicación de nuevos proyectos de construcción en las afueras de ella, lo que equivale a extender el área de la ciudad funcional.

**DIAGRAMA III.31**  
**LA DINÁMICA EXPANSIVA DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS**



Fuente: Elaboración propia.

Esta tendencia de expansión del área urbana tiene consecuencias en el sector modos de transporte, ya que afecta marcadamente al transporte público.

### 2. Ecuaciones

**CUADRO III.14**  
**ECUACIONES RELACIONADAS CON LA EXPANSIÓN DEL ÁREA URBANA**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
área APU= APU C+APU U	ha	Área ocupada por autopistas urbanas	a
área Ciclovías= B C+B U	ha	Área ocupada por ciclovías	a
área calles= C C+C U	ha	Área ocupada por calles	a
área E= E en C+E en uso	ha	Área ocupada por estacionamientos	a

(continúa)

Cuadro III.14 (continuación)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
área edificios en ha= Edif en C+Edif en U	ha	Área ocupada por edificios	a
área P= P C+P U	ha	Área ocupada por instalaciones para peatones	a
área total en ha= área edificios en ha+área transporte en ha+Verde+áreas verdes	ha		a
área transporte en ha= área APU+área ciclovías+área calles+área E+área P+área VS	ha	Área ocupada por infraestructura de transporte	a
área VS= VS C+VS U	ha	Área ocupada por vías segregadas	a
áreas verdes= efecto costo desarrollo tf(costos desarrollo)	ha		a
costo construcción= Edif en C*costo anual constr por ha	CLP/año		a
costo desarrollo= costo construcción+costo terrenos	CLP/año		a
costo terrenos= edific inicio*precio terreno por ha	CLP/año		a
densidad poblacional= población total/área total en ha	personas/ha		a
Edificios= Edif en U/área por edificio	edificios		a
efecto densidad en precio ha= efecto densidad lookup (densidad poblacional)	Dmnl		a
ingresos venta= SUM (ingresos por tipo de edificio [TipoEdificio!])	CLP/año	Ingresos por venta de edificios (total)	a
ingresos por tipo de edificio [TipoEdificio]= edific listo*precio venta ha	CLP/año	Ingresos por venta de edificios (por tipo)	a
P C= INTEG (trans C P inicio-p lista, 0)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en construcción	a
P U= INTEG (p lista-transf P a C, área ciudad*p P)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	a
población total= Estrato 1+Estrato 2+Estrato 3	personas	Cantidad total de personas	a
precio terreno por ha= precio ha normal*efecto densidad en precio ha	CLP/ha		a
edif inicio= V por dem a Edif/d aplic	ha/año	Superficie de áreas verdes que se redestina anualmente a edificios	f
edif listo= DELAY FIXED (edif inicio, d c Ed, 0)	ha/año	Superficie de edificios que anualmente se hace utilizable	f
área por edificio= 0,5	ha/edificio	Área media cubierta por edificios	p
costo anual constr por ha= 1 000	CLP/ha/año		p
precio ha normal= 1 000	CLP/ha		p
precio venta ha= 1 000	CLP/ha	Precio de venta de terrenos	p
APU C= INTEG (trans Edi en APU+transf C APU inicio-apu lista, 0)	ha	Superficie de autopistas urbanas en construcción	s
APU U= INTEG (apu lista-transf APU a C, área ciudad*p APU)	ha	Superficie de autopistas urbanas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
B C= INTEG (trans C B-b lista, 0)	ha	Superficie de ciclovías en construcción	s
B U= INTEG (b lista-transf B a C, área ciudad*p B)	ha	Superficie de ciclovías en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
C C= INTEG (trans V C inicio+transf APU a C+transf B a C+transf Est a C+transf P a C+transf VS a C-c lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción	s
C U= INTEG (c lista-trans C B-trans C E inicio-trans C P inicio-trans C VS inicio-transf C APU inicio, área ciudad*p Est)	ha	Superficie de calles en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción	s
E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso	s

(continúa)

Cuadro III.14 (conclusión)

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción	s
Edif en U= INTEG (edif listo-trans Edi en APU-trans Edi en E, área ciudad*p Edif)	ha	Superficie de edificios en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana	s
Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
VS C= INTEG (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de vías segregadas en construcción	s
VS U= INTEG (vs lista-transf VS a C, área ciudad*p VS)	ha	Superficie de vías segregadas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.	s
efecto costo desarrollo tf ([[0,0)-(10,10)], (0,0611621, 0,131579), (9,90826, 10))	Dmnl	Efecto de los costos de desarrollo en la exploración de áreas nuevas vírgenes	tf
efecto densidad lookup ([[0,0)-(100000,3)], (0, 0,0263158), (24770,6, 0,381579), (49235,5, 1,25), (74617,7, 2,44737), (99694,2, 2,96053))	****		tf

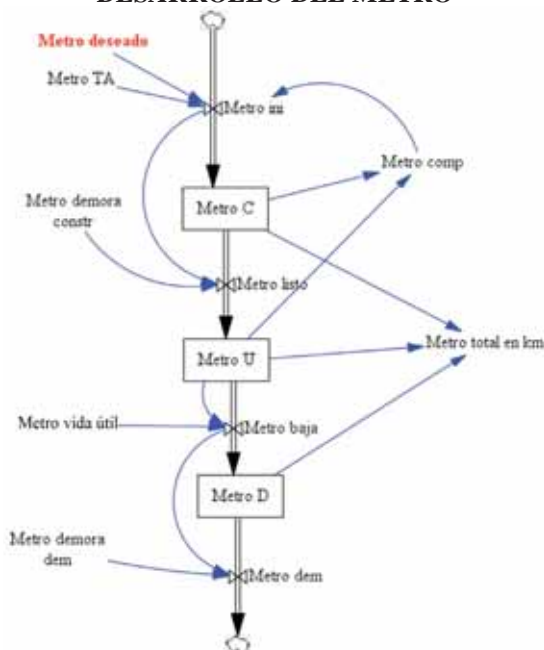
Fuente: Elaboración propia.

## N. El metro

### 1. Presentación general

Es un sector simple en el cual solo se desarrolla la dotación de líneas de metro en construcción, uso y desmantelamiento (véase el diagrama III.32).

**DIAGRAMA III.32  
DESARROLLO DEL METRO**



Fuente: Elaboración propia.

## 2. Ecuaciones

**CUADRO III.15**  
**ECUACIONES RELACIONADAS CON EL METRO**

Variable	Unidad	Comentario	Tipo
Metro comp= Metro U+Metro C	km	Base de comparación con kilómetros deseados	a
Metro total en km= Metro C+Metro D+Metro U	km	Largo total del metro	a
Metro baja= Metro U/Metro vida útil	km/año	Decisión de inicio de demolición	f
Metro dem= DELAY FIXED(Metro baja, Metro demora dem, 0)	km/año	Fin de demolición	f
Metro ini= (Metro deseado-Metro comp)/Metro TA	km/año	Inicio de construcción del metro	f
Metro listo= DELAY FIXED(Metro ini, Metro demora constr, 0)	km/año	Puesta en marcha	f
Metro demora constr= 5	año	Tiempo necesario para la construcción	p
Metro demora dem= 3	año	Tiempo necesario para la demolición	p
Metro deseado= 50	km	Largo deseado del metro	p
Metro TA= 1	año		p
Metro vida útil= 30	año	Vida útil del metro	p
Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción	s
Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición	s
Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso	s

Fuente: Elaboración propia.

## **IV. Recomendaciones para una gestión estratégica del transporte urbano**

### **A. Flujos de personas entre la ciudad y su entorno**

Las grandes ciudades de América Latina reciben corrientes de inmigración desde otros lugares de sus respectivos países. Se trata de un proceso de larga duración que probablemente seguirá por un tiempo considerable

La investigación de “*Urban dynamics*” (Forrester, 1969) reveló que la decisión de las personas de trasladarse hacia (o desde) la ciudad depende del atractivo relativo que perciban. Cada persona necesita ciertas condiciones de ocupación, ingreso y otros para llevar una vida subjetivamente satisfactoria. Cuando surge la sensación de que hay un lugar mejor que el actual, la decisión de migrar se hace cada vez más probable.

El atractivo de una ciudad es la combinación de una amplia gama de factores, muchos de los cuales tienen que ver con la infraestructura física, pero hay otros relacionados con la infraestructura política. La posibilidad de encontrar trabajo, vivienda y buenas condiciones sanitarias, de salud, educativas, de seguridad y de accesibilidad es muy importante.

Al mismo tiempo, el futuro desarrollo de la ciudad depende esencialmente de la composición de la población en cuanto a capital humano: mientras más elevado sea, mayor será el número de iniciativas empresariales y el acceso a trabajos de alto valor agregado. A su vez, esto genera riqueza y conduce a la posibilidad de desarrollar una infraestructura atractiva. También implica que la ciudad requiere de un tejido empresarial vigoroso, capaz de crear una demanda de trabajo de buen nivel de valor e ingresos.

En el contexto de América Latina, la mayoría de las personas que llegan a las ciudades en busca de mejores oportunidades (atractivo relativo) pertenece a segmentos poblacionales de bajo capital humano. Ello significa que, progresivamente, la fuerza de trabajo disponible es de una composición media menos atractiva para las empresas. Por lo tanto, las posibilidades de crecimiento de los ingresos se ven restringidas y los medios económicos para el mantenimiento o ampliación de la infraestructura se hacen más escasos.

En la lógica del atractivo relativo, esto tiene una función importante de estabilización: cuando disminuye tiende a reducirse el flujo de inmigración. En este sentido, vanos serán los intentos por desarrollar una infraestructura superior en todos los aspectos, ya que si empiezan a dar frutos atraen a poblaciones que invierten la tendencia hasta que el atractivo relativo de la ciudad se iguale con el de sus lugares de origen. Ello tiene repercusiones en las recomendaciones para la gestión estratégica de la ciudad.

Sin embargo, antes de proseguir es preciso señalar que los ciclos de diferentes tipos de infraestructura son muy lentos en comparación con la percepción humana del tiempo. El modelo de dinámica urbana tiene un horizonte temporal de 250 años, aspecto necesario para incorporar los procesos lentos de ajuste en las construcciones. Si bien es cierto que los ciclos del empresariado son más cortos, un breve examen de los tipos de infraestructura (véase el cuadro IV.1) lo deja muy claro.

**CUADRO IV.1**  
**TIPOS DE INFRAESTRUCTURA**

Tipo de infraestructura	Vida útil usual	Porcentaje de renovación anual
Edificio	30	$1/30 = 3,3$
Alcantarillado	100	$1/100 = 1$
Calle	25	$1/25 = 2,5$

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro III.1 muestra que, por lo general, cada año se renueva solo una pequeña fracción de la infraestructura. En la medida en que la puesta al día de una ciudad determinada implique reparar las viviendas o calles, por ejemplo, se requiere la asignación de recursos extraordinarios cuyo origen probablemente deberá ser externo, ya que al encontrarse en decadencia la ciudad no tendrá los medios necesarios para hacerlo.

Todas las consideraciones sobre gestión del desarrollo de cualquier tipo de infraestructura urbana deben hacerse teniendo en cuenta los siguientes factores:

- 1) La lentitud de los procesos de cambio de la infraestructura hace que los avances sean poco perceptibles durante los primeros años, lo que plantea un desafío de comunicación para mantener el nivel de esfuerzo y los sacrificios (costos de oportunidad) que implican.
- 2) Los avances logrados siempre contribuirán a aumentar la presión sobre la ciudad, limitando así la posibilidad de alcanzar otros en el futuro.

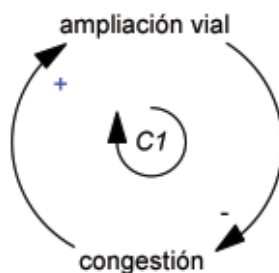
## **B. El conflicto entre el corto y el largo plazo**

Cuando los problemas de la ciudad llegan a ser percibidos por los ciudadanos (usuarios de la infraestructura, electores, fuerza de trabajo y consumidores al mismo tiempo), surgen presiones sobre los encargados de la toma de decisiones para generar mejoras. Lamentablemente, el mero hecho de advertir un problema aumenta la sensibilidad al respecto, por lo cual las expectativas de percibir una solución se centran en un marco corto de tiempo (uno o dos años).

Se origina entonces un campo de tensión entre las necesidades a corto plazo de los ciudadanos y la lentitud de los procesos de ajuste. Así, se llega rápidamente a una situación descrita por el patrón conocido como soluciones rápidas que fracasan (Senge, 1990).

En este contexto, la congestión es el síntoma de un problema. Dado que la ampliación vial al parecer permite reducir la congestión, surge la posibilidad de controlarla mediante este mecanismo (bucle compensador 1). La ampliación vial se convierte así en el instrumento para reducir la congestión. Cuando cierto tiempo después vuelve a presentarse el problema, la solución será ampliar nuevamente las vías.

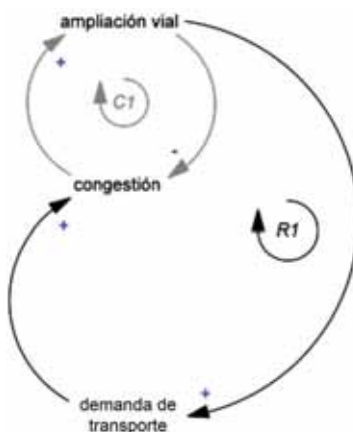
**DIAGRAMA IV.1**  
**BUCLE COMPENSADOR DE RETROALIMENTACIÓN PARA**  
**MANTENER LA CONGESTIÓN BAJO CONTROL**



Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, si bien es cierto que ampliar las vías contribuye inicialmente a reducir la congestión, también aumenta la demanda de transporte. Este efecto colateral tarda en hacerse visible, pero termina por anular el resultado inicial. Si el incremento de la demanda empeora la congestión y conduce a una nueva ampliación de las vías, la supuesta solución vuelve a aumentar la demanda y se produce un círculo vicioso (bucle reforzador 1).

**DIAGRAMA IV.2**  
**BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN REFORZADOR DEL EFECTO COLATERAL**



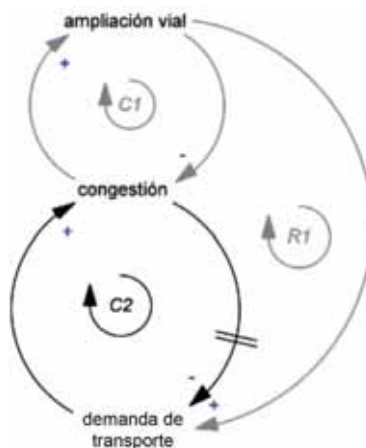
Fuente: Elaboración propia.

Resulta que si los esfuerzos de solución a corto plazo dejan sin cambiar las causas profundas del problema, este surgirá nuevamente y se requerirá otra vez de soluciones. En el peor de los casos, los intentos por resolverlo contribuirán a degradar la situación de fondo y serán cada vez más costosos.



La solución de fondo sería reducir la demanda de transporte (bucle compensador C2). Pero esta medida requiere más tiempo, por lo cual su aplicación producirá un efecto adverso inicial: no solo el público tendrá que esperar más tiempo hasta que se produzca un cambio perceptible, sino que durante la primera fase el rendimiento puede empeorar, ya que al no recurrir a una ampliación vial la congestión sigue aumentando inicialmente. El hecho de que “la conducta empeora antes de mejorar” es un fenómeno tan frecuente que ha sido mencionado como una ley sistémica por Senge (1990).

**DIAGRAMA IV.3**  
**BUCLE DE RETROALIMENTACIÓN COMPENSADOR**  
**PARA CONTROLAR LA CAUSA DEL PROBLEMA**



Fuente: Elaboración propia.

Hay un conflicto de metas entre el corto y el mediano plazo. Como se ha señalado en los estudios sobre dinámica urbana, lo que mitiga la parte visible del problema a corto plazo se traduce en un problema más grande a mediano plazo, pero la adopción de medidas que tengan efectos a mediano plazo exige renunciar al alivio de corto plazo.

Agregamos entonces dos tópicos adicionales al listado antes descrito de factores que enmarcan la gestión estratégica de la ciudad:

- 3) La atención de los ciudadanos debe orientarse hacia los aspectos que permiten visualizar correctamente si las condiciones están en proceso de mejora.
- 4) Se requiere la identificación de aspectos clave y la disponibilidad de un mecanismo de información pública suficientemente accesible.

## C. La interdependencia

Las dos secciones anteriores son aplicables a la gestión de infraestructura de la ciudad en general. A continuación se agregan algunas consideraciones sobre la gestión estratégica de la infraestructura relacionada con el transporte urbano, íntimamente vinculado con el servicio “accesibilidad”, pero también con otros componentes de la ciudad.

El sistema de transporte urbano es complejo. Sus componentes —diversos tipos de calles, estacionamientos, red de paraderos, máquinas y tarifas— interactúan entre sí y además con otros componentes del uso del suelo, la población (los estratos socioeconómicos con sus diversas costumbres

de transporte) y la actividad económica (y sus efectos en los ingresos). A continuación se ilustran las principales relaciones de interdependencia, apoyándose en el modelo desarrollado durante el proyecto. Se muestra que ninguna variable de decisión tiene un efecto único, sino más bien efectos diversos —no todos deseados—, y que se originan procesos circulares que pueden desarrollar una actividad propia de modo casi autónomo. Llegaremos a concluir que una ciudad grande necesita una gestión integral del sistema de transporte, con las interdependencias pertinentes, así como una organización institucional y procedimental apta para generar decisiones integrales.

Si la meta de la gestión de la infraestructura de transporte es lograr un buen desarrollo económico y social con una baja huella de carbono, entonces puede intentarse aumentar el atractivo relativo del transporte público, reducir la distancia media de los viajes o ambos. La elección modal entre transporte motorizado privado o público depende del atractivo del transporte público en comparación con el del transporte privado; esta relación se llama atractivo relativo. Todo lo que incrementa el atractivo del transporte público disminuye el del transporte privado, cuya huella de carbono es más alta (por kilómetro transportado). A su vez, una baja de la distancia por viaje producirá, todas las demás cosas siendo iguales, una reducción de las emisiones.

Es posible formular diversas medidas usando diferentes variables como punto de intervención:

- cambiar la dotación de autopistas urbanas;
- cambiar la dotación de vías segregadas (para autobuses);
- cambiar la dotación de espacios de estacionamiento;
- cambiar el costo de uso de las calles (cobros);
- cambiar la densidad de paraderos de autobús;
- cambiar la frecuencia de los autobuses;
- cambiar la distancia media entre los paraderos;
- cambiar la dotación de autobuses y metro.

Las medidas adoptadas por el ente de gestión urbana en sus intentos por influir en las decisiones de los ciudadanos (modos de transporte, distancia de los viajes) también afectan a otros actores importantes como empresas de transporte y empresas constructoras de viviendas y edificios, que a su vez toman decisiones en favor de sus intereses particulares. Muchas de estas interdependencias se describen detalladamente en el documento técnico sobre el modelo de dinámica de sistemas. En este trabajo nos limitaremos a presentar y analizar las más relevantes de forma compacta. En el cuadro IV.2 se presentan las variables de intervención (en dirección horizontal) y las principales variables afectadas (en dirección vertical).

**CUADRO IV.2**  
**LAS VARIABLES DE DECISIÓN Y SUS PRINCIPALES EFECTOS**

Influye en		APU deseado	B deseado	V deseado	Edif. deseado	autobuses deseados	C deseado	P deseado	metro deseado	VS deseado	E deseado	cobro tránsito por km	tarifa TP	distancia entre paraderos	distancia por viaje de estrato	frecuencia buses	Estrato 2	Estrato 3	población	sensibilidad para no motorizado por estrato	densidad poblacional	viajes día persona por estrato	Sensible a
Condiciones	extensión red TP	1	1				1	1	1	1	1												7
	distancia entre paraderos	1	1				1	1	1	1	1			1									8
	cobertura TP	1	1	1	1		1	1	1	1	1						1	1	1		1		13
	frecuencia autobuses	1	1			1	1	1	1	1	1					1							9
Atractivo	gasto transporte percibido	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	atractivo relativo TP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	atractivo transporte privado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	atractivo TP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1		1	1	1	1		1		17
Modos	modo no motorizado por estrato	1	1				1	1		1	1									1			7
	modo TP por estrato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	modo privado por estrato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
Viajes	transp anual TP por estrato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	transporte anual privado por estrato	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
Emisiones	emisiones anuales por infraestructura	1	1				1	1		1	1												6
	emisiones TP	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	emisiones privado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	emisiones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
Costos	costo emisiones	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	calor accidentes	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	gastos transporte privado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	21
	egresos por infraestructura	1	1				1	1		1	1												6
	costo construcción	1	1		1		1	1		1	1												7
	costo terrenos	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
Empleo	empleos chofer autos																1	1					2
	empleos otros autos																1	1					2
	empleos chofer autobús					1																	1
	empleos otros autobuses					1																	1
	puestos constr.	1	1		1		1	1	1	1	1												8
Presupuesto	PPT Empleadores	1	1		1		1	1		1	1												7
	PPT Hogares	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1			1	1	1		1		15
	PPT Gobierno	1	1		1		1	1	1	1	1												8
	PPT Desarrolladores	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
Densidad Área	densidad poblacional	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
	áreas verdes	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
	área total	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
Uso suelo	Verde	1	1	1	1		1	1		1	1						1	1	1		1		12
	C por construir	1	1				1	1		1	1												6
	C U	1	1				1	1		1	1												6
	E en C	1	1				1	1		1	1												6
	E en uso	1	1				1	1		1	1												6
	APU C	1	1				1	1		1	1												6
	APU U	1	1				1	1		1	1												6
	VS U	1	1				1	1		1	1												6
	VS C	1	1				1	1		1	1												6
	B C	1	1				1	1		1	1												6
	B U	1	1				1	1		1	1												6
	P C	1	1				1	1		1	1												6
	P U	1	1				1	1		1	1												6
	Metro U								1														1
	Edif en C	1	1		1		1	1		1	1												7
	Edif en U	1	1		1		1	1		1	1												7
	Estrato 2																1						1
	Estrato 3																	1					1
	población																1	1	1				3
Número de variables influenciadas		46	46	22	28	18	46	46	22	46	46	13	15	15	13	15	26	26	23	14	22	13	

Fuente: Elaboración propia.

Hay un conjunto de variables de decisión que se refieren al uso del suelo, específicamente la superficie destinada a la infraestructura de transporte (véase el cuadro IV.3).

**CUADRO IV.3**  
**VARIABLES DE DECISIÓN RELACIONADAS CON EL USO DEL SUELO**

Variable	Significado
<b>APU</b> deseado	<b>A</b> utopistas <b>u</b> rbanas deseadas
<b>B</b> deseado	Ciclovías deseadas (vías <b>b</b> icicleta)
<b>V</b> deseado	(Áreas) <b>V</b> erdes deseadas
<b>Edif</b> deseado	<b>E</b> dificios deseados
<b>C</b> deseado	<b>C</b> alles deseadas
<b>P</b> deseado	Infraestructura <b>p</b> eatonal deseada
Metro deseado	<b>Metro deseado</b>
<b>VS</b> deseado	<b>V</b> ías <b>s</b> egregadas (para autobuses) deseadas
<b>E</b> deseado	<b>E</b> stacionamientos deseados

Fuente: Elaboración propia.

Es importante reconocer que mientras no varíe el área total de la ciudad, no puede cambiarse la dotación de un componente sin modificar al mismo tiempo la de uno o varios de los demás. En este sentido, ampliar las autopistas urbanas implica disminuir calles y edificios, aumentar las vías segregadas implica reducir las calles, y otros.

Cambiar la cantidad deseada de cualquiera de estos componentes tiene numerosos efectos en las condiciones de transporte, el atractivo relativo del transporte público, la distribución modal, los viajes, las emisiones (provocadas por la infraestructura y por su uso), los costos (y por lo tanto los presupuestos), el empleo y la densidad poblacional.

Casi tan efectivas, pero sin influencia en materia de empleo, son otras decisiones que afectan el atractivo relativo del transporte público:

- cobro por km recorrido (cobro por el uso de las calles);
- tarifa del transporte público;
- distancia entre los paraderos;
- frecuencia de los autobuses.

Cada una de estas medidas incide en el atractivo relativo del transporte público y en numerosas otras variables (véase el cuadro IV.2).

La distancia media de los viajes, que depende de la extensión de la ciudad y de la forma de combinar o separar el lugar de vivienda de los correspondientes al trabajo o la educación (principales motivos de traslado), tiene una influencia poderosa. No obstante su importancia, es una variable que no puede cambiar sino a largo plazo, ya que cualquier variación de ella será consecuencia de cambios en materia de edificios. El ciclo de vida de estos define el marco de tiempo.

Por último, hay factores de influencia que no obedecen directamente a decisiones relacionadas con la gestión urbana:

- Estrato 2 y Estrato 3: el progreso de los estratos 1 y 2 hacia los estratos 2 y 3, respectivamente, aumenta el uso del transporte privado y sus efectos de incremento de la huella de carbono, los accidentes y la congestión. Este avance obedece al crecimiento económico y no debería ser reducido.

- Población: la población de las metrópolis de América Latina seguirá aumentando, lo que afectará la densidad poblacional.
- Densidad poblacional: cuando aumenta la densidad, el costo de los terrenos y la construcción tiende a incrementarse. Esto representa un incentivo a la extensión del área urbana que a su vez reduce la cobertura del transporte público y eleva sus costos, disminuyendo de todas formas su atractivo relativo.
- Sensibilidad para no motorizado por estrato: en la actualidad, el automóvil propio es un símbolo de estatus y el uso del transporte no motorizado es interpretado mayoritariamente como signo de pobreza. Estas apreciaciones pueden evolucionar hacia un mayor prestigio de la bicicleta o la caminata, con lo cual disminuirán de manera automática el uso de los modos de transporte motorizados y la huella de carbono por ciudadano. Sin embargo, el cambio de valores de una sociedad es un proceso cuando menos tan lento como los avances en la organización urbana. En este sentido, si bien parece importante emprender actividades orientadas a influir en esta sensibilidad, ellas no tendrán efectos a mediano plazo. Al respecto, cabe señalar la importancia de la dotación de ciclovías y de infraestructura para peatones.
- Viajes día persona por estrato: como parte de las costumbres de los ciudadanos, el número de viajes diarios también incide en la distancia total recorrida. Al igual que en el aspecto antes mencionado, pueden producirse cambios de hábitos, pero requerirán de un marco largo de tiempo.

Para finalizar esta sección, en el cuadro IV.4 se resumen las diferentes fuentes de influencia, junto con el número de variables que afectan, el grado de control sobre ellas y el horizonte de tiempo necesario.

**CUADRO IV.4**  
**FUENTES DE INFLUENCIA**

Variable	Influencias	Control	Tiempo
APU deseado	46	sí	medio
B deseado	46	sí	rápido
C deseado	46	sí	rápido
E deseado	46	sí	medio
P deseado	46	sí	rápido
VS deseado	46	sí	rápido
Edif deseado	28	no	medio
Estrato 2	26	no	lento
Estrato 3	26	no	lento
Población	23	no	lento
Densidad poblacional	22	no	lento
Metro deseado	22	sí	medio
V deseado	22	sí	medio
Autobuses deseados	18	no	rápido

(continúa)

Cuadro IV.4 (conclusión)

Variable	Influencias	Control	Tiempo
Distancia entre paraderos	15	no	rápido
Frecuencia autobuses	15	no	rápido
Tarifa TP	15	sí	rápido
Sensibilidad respecto de no motorizados por estrato	14	no	lento
Cobros por km recorrido	13	sí	medio
Distancia por viaje por estrato	13	sí	lento
Viajes día persona por estrato	13	no	lento

Fuente: Elaboración propia.

A partir del cuadro IV.4, es posible apreciar que el ente gestor de la infraestructura de transporte tiene control directo sobre muchos de los factores que influyen en las diversas variables. En relación con las variables que controla directamente, en el cuadro IV.5 se presenta una clasificación de las medidas según las variables influenciadas y la velocidad con que se aprecian los efectos pertinentes, otorgando hasta 100 puntos por cada categoría.

**CUADRO IV.5**  
**VARIABLES INFLUENCIADAS Y VELOCIDAD**

Variable	Influencias	Velocidad	Puntos
B deseado	100	100	200
C deseado	100	100	200
P deseado	100	100	200
VS deseado	100	100	200
APU deseado	100	67	167
E deseado	100	67	167
Tarifa TP	33	100	133
Metro deseado	48	67	114
V deseado	48	67	114
Cobros por km recorrido	28	67	95
Distancia por viaje por estrato	28	33	62

Fuente: Elaboración propia.

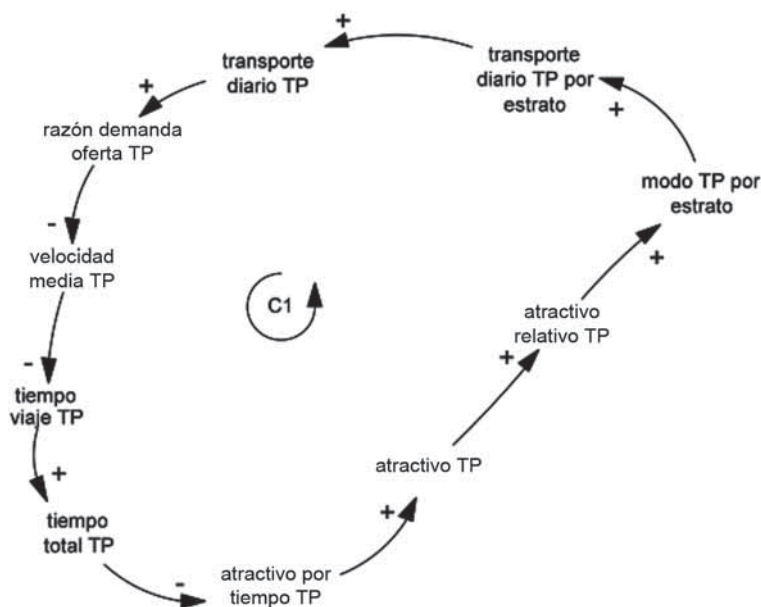
Se aprecia que las decisiones orientadas a cambiar la dotación de área de los diferentes componentes del transporte urbano tienden a ser influyentes y generan efectos en un tiempo relativamente breve. Cabe destacar que la variable distancia por viaje por estrato queda en el último lugar de la clasificación.

## D. El atractivo relativo y su dinámica

El atractivo relativo del transporte público aparece como la principal variable de apalancamiento, con un horizonte temporal de mediano a corto plazo. En este sentido, el hecho de aumentarla permitirá disminuir la huella de carbono del transporte, reducir los accidentes de tránsito y su costo, generar más empleos en el transporte público y reorientar los gastos dedicados a la compra y mantenimiento de automóviles hacia otros destinos, en parte locales y que tienen un efecto multiplicador en la actividad económica.

Sin embargo, el atractivo relativo es una variable que depende de diversas influencias y que en parte también está expuesta a los retroefectos que sus propios cambios generan en ella. En esta sección se presentan los bucles de retroalimentación más relevantes.

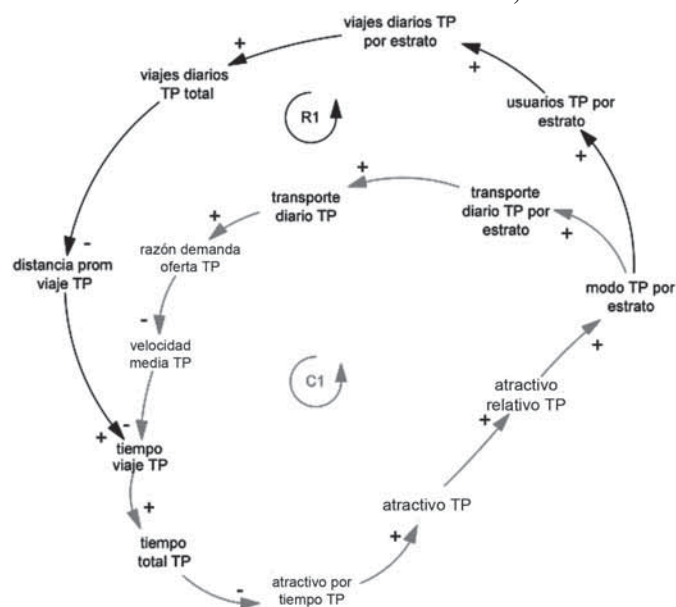
**DIAGRAMA IV.4**  
**BUCLE COMPENSADOR 1 – MÁS USO, MÁS LENTITUD**



Fuente: Elaboración propia.

Cuando una decisión del ente gestor —por ejemplo, una ampliación de las vías segregadas para autobuses— se traduce en un aumento del atractivo relativo del transporte público (ARTP), se incrementa el uso de este modo de transporte y por lo tanto el número de kilómetros recorridos. Entonces, disminuye la velocidad media y aumenta el tiempo total del transporte público, lo que a su vez contribuye a reducir su atractivo. Esto limita el alcance del ARTP.

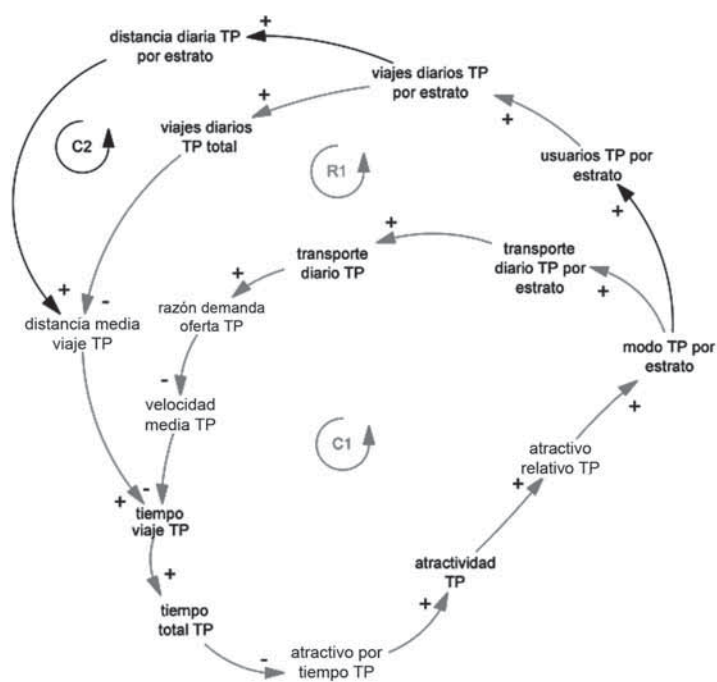
**DIAGRAMA IV.5**  
**BUCLE REFORZADOR 1 - MÁS USUARIOS, MÁS LENTITUD**



Fuente: Elaboración propia.

Un segundo efecto será que los viajes adicionales tienden a ser más cortos, de manera que disminuirá el tiempo total y se acrecentará aún más su atractivo. Este proceso aumentaría los efectos en el ARTP.

**DIAGRAMA IV.6**  
**BUCLE COMPENSADOR 2 - MAYOR DISTANCIA, MÁS TIEMPO**

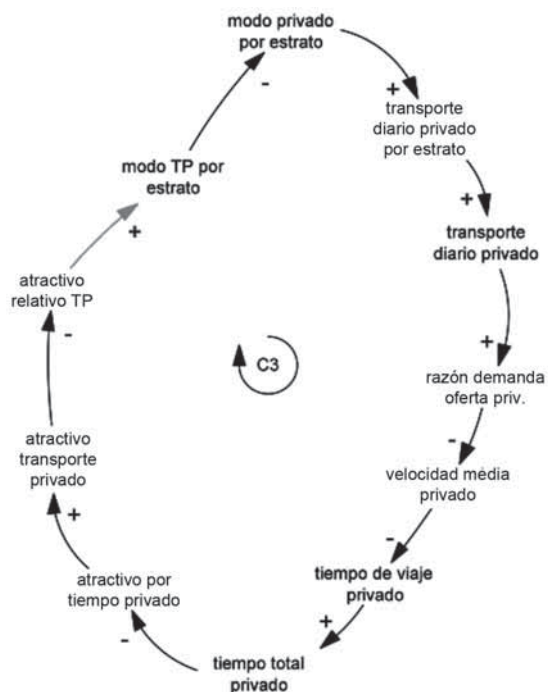


Fuente: Elaboración propia.



Sin embargo, el mayor uso del transporte público también contribuye a aumentar las distancias recorridas, ya que en el mismo período de tiempo se llega más lejos. Por esta vía, el tiempo total tiende a aumentar y el ARTP se ve disminuido.

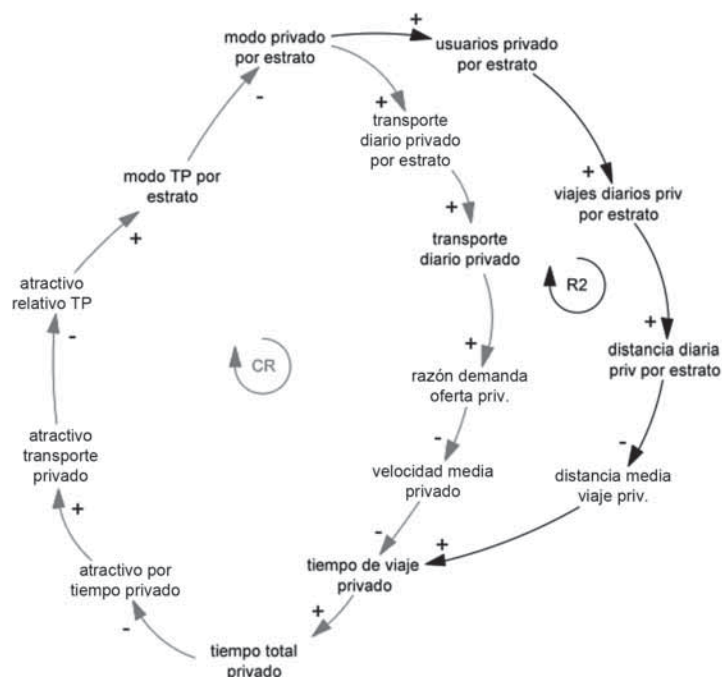
**DIAGRAMA IV.7**  
**MÁS USO, MÁS LENTITUD**



Fuente: Elaboración propia.

Aumentar el ARTP también implica disminuir el interés por el transporte privado. Con esto se reduce el tiempo total destinado a este modo de transporte, se incrementa su atractivo y disminuye el del transporte público.

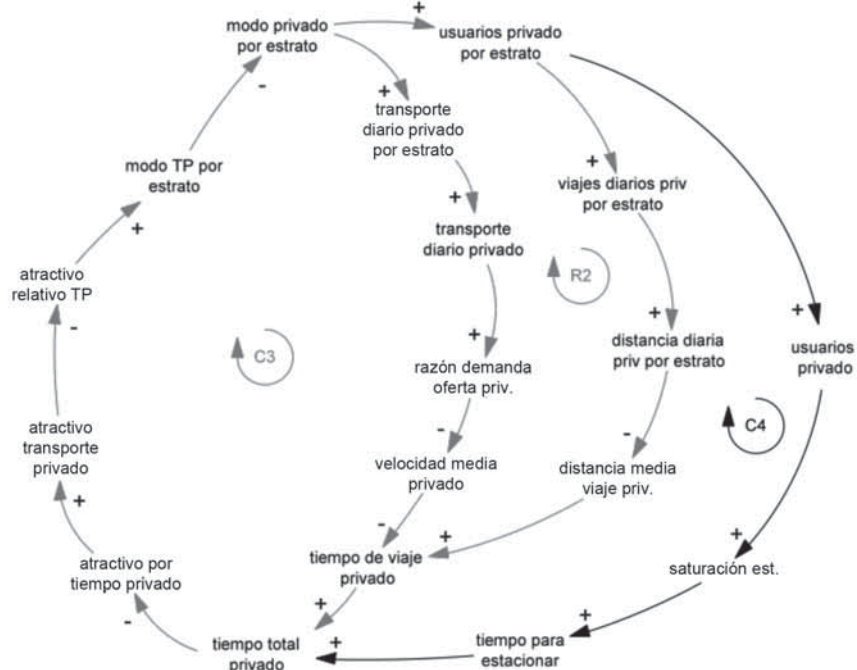
**DIAGRAMA IV.8**  
**BUCLE REFORZADOR 2 - MÁS USUARIOS, MÁS LENTITUD**



Fuente: Elaboración propia.

De modo similar al transporte público, los últimos viajes que se añaden tienden a ser más cortos, por lo cual disminuye el tiempo total y se incrementa el atractivo del transporte privado.

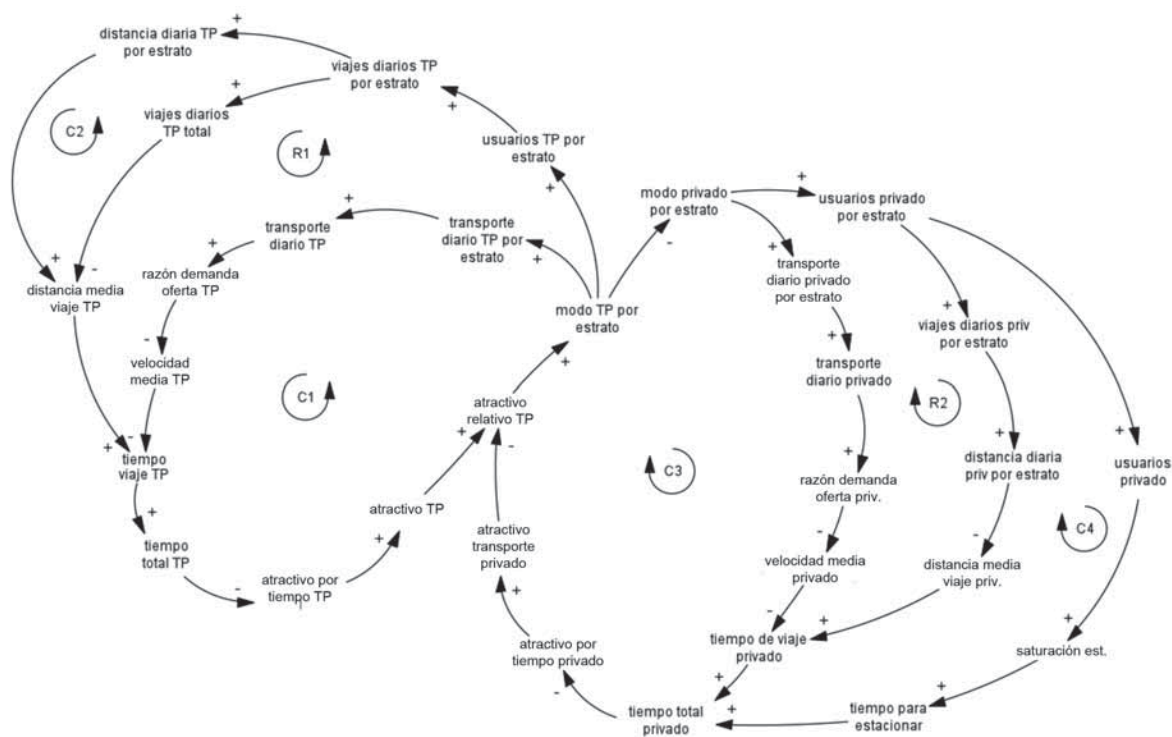
**DIAGRAMA IV.9**  
**BUCLE COMPENSADOR 4 - MÁS SATURACIÓN. MENOS ATRACTIVO**



Fuente: Elaboración propia.

Al aumentar el número de usuarios del transporte privado, se incrementa también la saturación y su atractivo disminuye.

**DIAGRAMA IV.10**  
**LOS SEIS BUCLES INTERDEPENDIENTES EN TORNO AL ATRACTIVO**  
**RELATIVO DEL TRANSPORTE PÚBLICO**



Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama IV.10 se aprecia que el ARTP queda simultáneamente en seis bucles cerrados, cuatro de los cuales son “compensadores”: invierten el sentido del cambio inicial y de esta forma estabilizan o frenan la velocidad del cambio. Se trata de un estabilizador integrado el transporte urbano, que le otorga a la población de ciudadanos la capacidad de ajustar sus conductas a fin de equilibrar el atractivo de los diversos modos de transporte. Si bien este es un buen signo y significa que no siempre se requiere la intervención del ente de gestión urbana, también tiene una consecuencia delicada. Cualquier decisión de intervenir en el transporte urbano mediante un cambio de las variables que afectan el ARTP engañará con la mecánica de estos bucles cerrados que presionarán contra la dirección intencionada.

Este aspecto, al que Stenge (1990) llamó ley sistémica —“cuando más se presiona, más se presiona el sistema”—, debe ser tomado en cuenta a la hora de diseñar políticas de gestión de la infraestructura de transporte. Por ejemplo, si a causa de un mayor cobro por el uso de estacionamientos aumenta el ARTP, en seguida se acrecienta la densidad del uso del transporte público, lo que provoca varios efectos. Desde luego, cuando disminuye el uso de automóviles y aumenta el del transporte público los síntomas de congestión vehicular se reducen temporalmente y la mayor densidad en el uso de este servicio se traduce en una mayor congestión para sus usuarios. Entonces, poco tiempo después de aumentar los cobros se observarían reacciones adversas que tienden a anular el efecto inicial. No tendría mucho sentido aplicar nuevos cobros por estacionar, pero podría pensarse en aumentar la dotación de autobuses de manera preventiva a fin de absorber a los pasajeros adicionales. Además,

el cobro de estacionamientos podría acompañarse de otras medidas orientadas a disminuir el uso de automóviles (zonas de velocidad reducida, zonas peatonales).

Lo anterior no es más que un ejemplo ilustrativo. Al listado de condiciones antes mencionadas, se agregan entonces los siguientes factores de gestión estratégica del transporte urbano:

5. Se requiere de un panel de control que incluya los factores relevantes y las relaciones causales entre sí.
6. Desde el mismo panel de control puede alimentarse el sistema de información pública orientado a los ciudadanos.
7. Es preciso contar con una organización institucional que asegure la toma en cuenta de las interdependencias.
8. Se requiere de procedimientos que aseguren transparencia y responsabilidad en la toma de decisiones.

## **E. Recomendaciones**

A continuación se presenta un diseño recomendado para el panel de control.

### **1. Requisitos de organización y coordinación**

La ciudad es un sistema completo donde las acciones de un conjunto de actores se coordinan por medio de múltiples efectos frecuentemente colaterales y en que muchos procesos de ajuste estructural exceden el horizonte temporal de los ciclos políticos. Se hace entonces necesario tener un ente de gestión estratégica capaz de ser un interlocutor de los diversos grupos de actores y de adoptar una mirada a largo plazo. Se recomienda una estructura de “consejo” apoyada por un equipo transdisciplinario de análisis y proyección. Este “consejo” debe estar conectado al sistema político y, al mismo tiempo, ser relativamente independiente de este.

### **2. Panel de control**

El equipo técnico del “consejo” antes mencionado debe dotarse de un instrumento de monitoreo que proporcione datos dentro del modelo conceptual desarrollado en este trabajo. Se trata entonces de monitorear las variables que aparecen en el diagrama IV.10. Esto permitirá conocer el estado actual del sistema de transporte urbano, hacer proyecciones y escenarios específicos y tomar decisiones estratégicas.

### **3. Investigación coordinada**

Naturalmente, las grandes ciudades de América Latina son distintas una de otras. Sin embargo, más allá de estas diferencias aparentes, existe un contexto cultural y socioeconómico compartido. Sus habitantes tienen sistemas de valores similares, como también lo es su composición educacional y económica. En este sentido, sería deseable que los equipos técnicos de los “consejos” emprendieran un esfuerzo coordinado sobre la base de los procesos y estructuras compartidos.



## V. Estado actual y pasos futuros

### A. Logros del estudio: construcción de una hipótesis dinámica

Las entrevistas, reuniones y uso de fuentes secundarias han permitido desarrollar, de forma participativa, un modelo conceptual con las características explicitadas en el cuadro E.1.

**CUADRO V.1**  
**MODELO CONCEPTUAL**

Acumuladores	70
Flujos	67
Auxiliares	359
Parámetros	135
Funciones de tabla (table functions)	20
Ecuaciones en total	651

Fuente: Elaboración propia.

Las reuniones de validación han permitido considerar que la estructura causal refleja las variables y los vínculos causales relevantes de manera lógicamente coherente y que no faltan factores importantes.

Además, el modelo prevee la posibilidad de evaluar numerosos escenarios:

- aumento, reducción o ambos de calles, vías segregadas, autopistas urbanas, ciclovías, infraestructura peatonal, estacionamientos y metro;
- aumento, disminución o ambos de los cobros por el uso de calles y estacionamientos;
- aumento, reducción o ambos de la distancia media por viaje (efecto de mejor integración de los destinos típicos dentro del sector de la ciudad).

Disponemos entonces hoy día de una teoría de la interdependencia entre el transporte y el uso del suelo que puede convertirse en plataforma para la experimentación de diversas políticas públicas. No obstante, es importante destacar que el modelo necesita ser calibrado y validado antes de ser utilizado para el diseño de políticas públicas (Lane, 2008).

## **1. Futuro 1: de la estructura cualitativa hacia la cuantificación**

Los modelos de dinámica de sistemas del grado de complejidad del nuestro requieren de un tiempo importante para ser calibrados y validados. La cantidad de tiempo depende del número de parámetros respecto de los cuales se necesitan datos y de la dificultad para obtenerlos.

En este sentido, se recomienda proceder en dos etapas, partiendo por una ciudad de tamaño intermedio y luego escalando hacia una primera metrópolis de América Latina.

Las ciudades sugeridas son Viña del Mar/Valparaíso y Santiago de Chile. Viña del Mar tiene la mayoría de las entidades conceptualizadas en el modelo, pero su dimensión intermedia permitirá obtener una primera validación del modelo en un tiempo netamente inferior al necesario para una metrópolis. Es preciso considerar de 10 a 12 meses por hombre en la parte correspondiente a Viña del Mar.

## **2. Futuro 2: hacia un modelo basado en los conceptos de ecología**

Como se mencionó al principio de este informe, se trata de un modelo de elevado grado de agregación en que no se subdivide a la ciudad en zonas y que no comprende todos los modos de transporte, sino que los clasifica en dos grandes clases: públicos y privados. Este es un trabajo de modelado comparativamente rápido y que permite centrar el análisis en torno a políticas y comportamientos genéricos.

Si bien este tipo de estudio revelará su utilidad como capa intermedia entre los hechos estilizados de la investigación teórica y aquellos relacionados con ciudades concretas, sería importante examinar el desarrollo de una capa de modelo intermedio entre este nivel agregado y los modelos desagregados del tipo desarrollado por la Secretaría de Planificación de Transporte (SECTRA).

Otra posibilidad es aplicar el modelo MARS desarrollado por la Universidad Tecnológica de Viena, cuyos académicos estarían interesados en elaborar un esquema de colaboración que permitiría crear una aplicación del MARS para Santiago de Chile y posteriormente otras metrópolis regionales.

## Bibliografía

- Alfeld, L. E. Urban dynamics-The first fifty years. *System Dynamics Review* Vol. 11, no. 3 (Fall 1995): 199-217
- Baylor, A. L., Y. Lee y D. W. Nelson (2005), "Supporting problem-solving performance through the construction of knowledge maps," *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 16, N° 2.
- Duran-Encalada, J. A y A. Paucar-Caceres (2009), "System dynamics urban sustainability model for Puerto Aura in Puebla, Mexico," *Systemic practice and action research*, vol. 22, N° 2.
- \_\_\_\_ (2007), "Sustainability Model for the Valsequillo Lake in Puebla, Mexico: Combining System Dynamics and Sustainable Urban Development," *The 2007 International Conference of the System Dynamics Society and 50th Anniversary Celebration*.
- Fong, W. K, H. Matsumoto y Y. F Lun (2009), "Application of System Dynamics model as decision making tool in urban planning process toward stabilizing carbon dioxide emissions from cities," *Building and Environment*, vol. 44, N° 7.
- Forrester, Jay Wright (1969), *Urban Dynamics*, MIT Press
- Forrester, 2007: "System dynamics – the next 50 years". *System Dynamics Review* 23(2/3): 359–370
- Lane, D. C (2008), "The emergence and use of diagramming in system dynamics: a critical account," *Systems research and behavioral science*, vol. 25, N° 1.
- Levine, R. S y otros (s/f), "The Sustainable City Game: Systems Dynamics Modeling Toward a Democratic Urban Design Process."
- Mass, N. (1991), "Diagnosing surprise model behavior: a tool for evolving behavioral and policy insights," *System Dynamics Review*, vol. 7, N° 1.
- Peña, S. y C. M Fuentes (2007), "Land use changes in Ciudad Juarez, Chihuahua: a systems dynamic model," *Estudios Fronterizos*, vol. 8, N° 16.
- Pfaffenbichler, P. (2003), "The strategic, dynamic and integrated urban land use and transport model MARS (Metropolitan Activity Relocation Simulator)-Development, testing and application," *Beiträge zu einer ökologisch und sozial vertäglichen Verkehrsplanung*.
- Pfaffenbichler, P., G. Emberger y S. Shepherd (2010), "A system dynamics approach to land use transport interaction modelling: the strategic model MARS and its application," *System Dynamics Review*, vol. 26, N° 3.
- Sanjaykumar, Sonar (2008), "Urban Sprawl A System Dynamic Approach," *Proceedings of the 44th ISOCARP Congress 2008*.



- Schaffernicht, Martin (2009), Learning from rediscovering system dynamics models, *Systèmes d'Information et Management* 14(4)-2009, p. 87-105
- Schaffernicht, Martin (2010), Causal loop diagrams as means to improve the understanding of dynamic problems: a critical analysis, *Systems Research and Behavioral Science* 27(6): 653–666 (December 2010)
- Senge, P. La quinta disciplina, Granica, 1990
- Stave, K. A (2002), “Using system dynamics to improve public participation in environmental decisions,” *System Dynamics Review*, vol. 18, N° 2.
- Sterman, J. D y J. D Sterman (2000), *Business dynamics: Systems thinking and modeling for a complex world with CD-ROM*, Irwin/McGraw-Hill.
- Stoyanov, S. (1997), “Cognitive mapping as a learning method in hypermedia design,” *Journal of Interactive Learning Research*, vol. 8.
- Winz, Ines (2005), “Assessing sustainable urban development using system dynamics: The case of New Zealand’s urban water systems.”
- Yevdokimov, Y. (2002), “Sustainable Transportation System: A System Dynamics Approach,” *Research report, University of New Brunswick, Canada.*

## **Anexo: elementos clave del modelo por tipo**

## Anexo 1: Acumulaciones

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Costos construcción	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Costos construcción	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Costos construcción	Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición
Costos construcción	Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso
Desarrollo vías	APU deseado= INTEG (aVDAPU-dVDAPU, APU U en km)	km	Kilometraje deseado de autopistas urbanas
Desarrollo vías	C deseado= INTEG (aVDC-dVDC, C U en km)	km	Kilometraje necesario de calles normales
Desarrollo vías	E deseado= INTEG (aEsD-dEsD, E en uso)	ha	Área necesaria para estacionamientos
Desarrollo vías	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Desarrollo vías	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Desarrollo vías	Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción
Desarrollo vías	Edif en U= INTEG (edif listo-trans Edi en APU-trans Edi en E, área ciudad*p Edif)	ha	Superficie de edificios en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Desarrollo vías	Edificios deseados= INTEG (aED-dED, Edif en U)	edificio	Área necesaria para edificios
Desarrollo vías	V deseado= INTEG (aVD-dVD, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes; lo deseado se inicia igual a lo actual. Puede aumentar, pero disminuye cuando se inicia la construcción de edificios, calles o ambos.
Desarrollo vías	Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Dinero	PPT desarrolladores= INTEG (por locales+por oficinas+por vivienda-para construcción-para terrenos, 0)	CLP	Saldo de dinero de las empresas de desarrollo
Dinero	PPT Empleadores= INTEG (para construcción-impuestos empresas-por locales-sueldos general, 0)	CLP	Saldo de dinero de las otras empresas
Dinero	PPT Empresas TP= INTEG (pagos viajes TP+subsídios a empresas TP-egresos por autobuses-impuestos empresas TP-sueldos choferes, 0)	CLP	Saldo de dinero de las empresas de transporte público
Dinero	PPT Gobierno= INTEG (impuestos empresas+impuestos empresas TP+impuestos hogares-egresos por infraestructura-por oficinas-subsídios a empresas TP-sueldos constr, 0)	CLP	Saldo de dinero del gobierno
Dinero	PPT Hogares= INTEG (para terrenos+sueldos choferes+sueldos constr+sueldos general-impuestos hogares-pagos viajes TP-por vivienda, 0)	CLP	Saldo de dinero de los hogares
Emisiones	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Emisiones	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Emisiones	Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción
Emisiones	Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición
Emisiones	Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso

(continúa)

## Anexo 1 (continuación)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Expansión área	APU C= INTEG (trans Edi en APU+transf C APU inicio-apu lista, 0)	ha	Superficie de autopistas urbanas en construcción
Expansión área	APU U= INTEG (apu lista-transf APU a C, área ciudad*p APU)	ha	Superficie de autopistas urbanas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Expansión área	B C= INTEG (trans C B-b lista, 0)	ha	Superficie de ciclovías en construcción
Expansión área	B U= INTEG (b lista-transf B a C, área ciudad*p B)	ha	Superficie de ciclovías en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Expansión área	C C= INTEG (trans V C inicio+transf APU a C+transf B a C+transf Est a C+transf P a C+transf VS a C-c lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción
Expansión área	C U= INTEG (c lista-trans C B-trans C E inicio-trans C P inicio-trans C VS inicio-transf C APU inicio, área ciudad*p Est)	ha	Superficie de calles en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Expansión área	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Expansión área	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Expansión área	Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción
Expansión área	Edif en U= INTEG (edif listo-trans Edi en APU-trans Edi en E, área ciudad*p Edif)	ha	Superficie de edificios en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Expansión área	Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Expansión área	VS C= INTEG (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de vías segregadas en construcción
Expansión área	VS U= INTEG (vs lista-transf VS a C, área ciudad*p VS)	ha	Superficie de vías segregadas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Metro	Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción
Metro	Metro D= INTEG (Metro baja-Metro dem, 0)	km	Metro en demolición
Metro	Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso
Modos de transporte	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Modos de transporte	Estrato1= INTEG (imigración 1+regeneración 1-ascenso 12, 3e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte público
Modos de transporte	Estrato2= INTEG (ascenso 12+imigración 2+regeneración 2-ascenso 23, 2e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte privado
Modos de transporte	Estrato3= INTEG (ascenso 23+imigración 3+regeneración 3, 1e+006)	personas	Población del estrato que tiene los medios para transportarse según sus preferencias
Modos de transporte	Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso
Población	Estrato1= INTEG (imigración 1+regeneración 1-ascenso 12, 3e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte público
Población	Estrato2= INTEG (ascenso 12+imigración 2+regeneración 2-ascenso 23, 2e+006)	personas	Población del estrato que no tiene los medios para usar el transporte privado
Población	Estrato3= INTEG (ascenso 23+imigración 3+regeneración 3, 1e+006)	personas	Población del estrato que tiene los medios para transportarse según sus preferencias

(continúa)

## Anexo 1 (conclusión)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Población	Ingreso por pers por estrato [bajo]= INTEG (creci ingreso, 2,5e+006); Ingreso por pers por estrato [medio]= INTEG (creci ingreso, 1,2e+007); Ingreso por pers por estrato [alto]= INTEG (creci ingreso, 2e+007)	CLP/año	Ingreso anual medio de los estratos
Puestos	APU C= INTEG (trans Edi en APU+transf C APU inicio-apu lista, 0)	ha	Superficie de autopistas urbanas en construcción
Puestos	B C= INTEG (trans C B-b lista, 0)	ha	Superficie de ciclovías en construcción
Puestos	C C= INTEG (trans V C inicio+transf APU a C+transf B a C+transf Est a C+transf P a C+transf VS a C-c lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción
Puestos	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Puestos	Edif en C= INTEG (edif inicio+transf Est a Edi-edif listo, 0)	ha	Superficie de edificios en construcción
Puestos	Metro C= INTEG (Metro ini-Metro listo, 0)	km	Metro en construcción
Puestos	P C= INTEG (trans C P inicio-p lista, 0)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en construcción
Puestos	VS C= INTEG (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de vías segregadas en construcción
Uso del suelo	B U= INTEG (b lista-transf B a C, área ciudad*p B)	ha	Superficie de ciclovías en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Uso del suelo	C C= INTEG (trans V C inicio+transf APU a C+transf B a C+transf Est a C+transf P a C+transf VS a C-c lista, 0)	ha	Superficie de calles en construcción
Uso del suelo	C U= INTEG (c lista-trans C B-trans C E inicio-trans C P inicio-trans C VS inicio-transf C APU inicio, área ciudad*p Est)	ha	Superficie de calles en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Uso del suelo	E en C= INTEG (trans C E inicio+trans Edi en E-estac listo, 0)	ha	Estacionamientos en construcción
Uso del suelo	E en uso= INTEG (estac listo-transf Est a C-transf Est a Edi-transf Est a V, área ciudad*p Est)	ha	Estacionamientos en uso
Uso del suelo	P C= INTEG (trans C P inicio-p lista, 0)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en construcción
Uso del suelo	P U= INTEG (p lista-transf P a C, área ciudad*p P)	ha	Superficie de instalaciones peatonales en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Uso del suelo	Verde= INTEG (amplia verde+transf Est a V-edif inicio-trans V C inicio, área ciudad*p V)	ha	Superficie de áreas verdes en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Uso del suelo	VS C= INTEG (trans C VS inicio-vs lista, 0)	ha	Superficie de vías segregadas en construcción
Uso del suelo	VS U= INTEG (vs lista-transf VS a C, área ciudad*p VS)	ha	Superficie de vías segregadas en uso; inicialmente es el porcentaje inicial del área urbana.
Vehículos	Buses [Vehículo Grande]= INTEG (autobuses comprados [Vehículo Grande]-autobuses bajas [Vehículo Grande], autobuses init [Vehículo Grande])	autobuses	Cantidad de autobuses (por tipo)
Viajes	Ingreso por pers por estrato [bajo]= INTEG (creci ingreso, 2,5e+006); Ingreso por pers por estrato [medio]= INTEG (creci ingreso, 1,2e+007); Ingreso por pers por estrato [alto]= INTEG (creci ingreso, 2e+007)	CLP/año	Ingreso anual medio de los estratos
Viajes	Metro U= INTEG (Metro listo-Metro baja, 50)	km	Metro en uso

## Anexo 2: Parámetros

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Costos construcción	APU C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción autopistas urbanas
Costos construcción	APU U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de autopistas urbanas en uso
Costos construcción	Bici C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción ciclovías
Costos construcción	Bici U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de ciclovías en uso
Costos construcción	Calles C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción calles
Costos construcción	Calles U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de calles en uso
Costos construcción	Est C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción estacionamientos
Costos construcción	Est U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de estacionamientos en uso
Costos construcción	Metro C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción metro
Costos construcción	Metro D costo= 1	MCLP/km/año	
Costos construcción	Metro U costo= 1	MCLP/km/año	Costos de metro en uso
Costos construcción	Peat C costo= 1	MCLP/km/año	Costo de construcción instalaciones para peatones
Costos construcción	Peat U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de instalaciones para peatones en uso
Costos construcción	VS C costo= 1	MCLP/km/año	Costos de construcción vías segregadas
Costos construcción	VS U costo= 1	MCLP/km/año	Costo de vías segregadas en uso
Desarrollo vías	ancho APU= 16	m	Ancho medio de las autopistas urbanas
Desarrollo vías	ancho calle= 12	m	Ancho medio de calles simples
Desarrollo vías	ancho VS= 8	m	Ancho medio de una vía segregada
Desarrollo vías	aPD= 0	km/año	Aumento anual de instalaciones para peatones
Desarrollo vías	área ciudad= 60 000	ha	
Desarrollo vías	área por edificio= 0,5	ha/edificio	Área media cubierta por edificios
Desarrollo vías	aVDAPU= 0	km/año	Aumento anual de kms deseados de autopistas urbanas
Desarrollo vías	aVDB= 0	km/año	Aumento anual de ciclovías deseadas (ahora cero)
Desarrollo vías	aVDC= 0	km/año	Aumento anual de calles deseadas (ahora cero)
Desarrollo vías	aVDS= 0	km/año	Aumento anual de vías segregadas deseadas
Desarrollo vías	D aplic= 1	año	Se usa para convertir los km de las decisiones en km/año
Desarrollo vías	E por dem a C= 0	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles
Desarrollo vías	M por auto= 10	m <sup>2</sup> /vehículo	Metros cuadrados por auto
Desarrollo vías	P V= 0,1	Dmnl	
Desarrollo vías	porc C por c de APU= 0	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán áreas de autopistas urbanas
Desarrollo vías	porc C por c de B= 0	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán áreas de ciclovías
Desarrollo vías	porc C por c de Est= 0	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán áreas de estacionamientos
Desarrollo vías	porc C por c de P= 0	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán áreas de instalaciones peatonales
Desarrollo vías	porc C por c de V= 1	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán zonas de áreas verdes
Desarrollo vías	porc C por c de VS= 0	Dmnl	Porcentaje de calles adicionales que ocuparán áreas de vías segregadas

(continúa)

## Anexo 1 (continuación)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Desarrollo vías	porc constr Est Edi= 0,5	Dmnl	Porcentaje de construcción de estacionamientos que ocuparán áreas de edificios (el resto se toma de las calles)
Desarrollo vías	porc dem Est C= 0,4	Dmnl	Porcentaje de estacionamiento demolidos cuya superficie servirá para construcción de calles
Desarrollo vías	porc dem Est Edi= 0,4	Dmnl	Porcentaje de estacionamientos demolidos cuya superficie servirá para construcción de edificios
Desarrollo vías	porc dem Est V= 0,2	Dmnl	Porcentaje de estacionamientos demolidos cuya superficie servirá para construcción de áreas verdes
Desarrollo vías	porc dem V a Edif= 1	Dmnl	Porcentaje de nuevos edificios que reduce zonas de áreas verdes
Desarrollo vías	porc V de E= 0	Dmnl	Porcentaje de áreas verdes adicionales que se harán por reasignación áreas de estacionamiento
Desarrollo vías	TA ed decisión demol= 1	año	Tiempo de ajuste para decidir la demolición de edificios
Desarrollo vías	tiempo ajuste E= 100	año	
Dinero	impuestos empresas= 0	CLP/año	Pagos de impuestos por parte de otras empresas
Dinero	impuestos empresas TP= 0	CLP/año	Pagos de impuestos por parte de empresas de transporte público
Dinero	impuestos hogares= 0	CLP/año	Pagos de impuestos de los hogares
Dinero	salario puesto constr= 1e+006	CLP/año/puesto	Porcentaje de estacionamientos demolidos cuya superficie servirá para construcción de edificios
Dinero	subsidios a empresas TP= 0	CLP/año	Pagos de subsidios a empresas de transporte público
Emisiones	AU C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	AU U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Bici C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Bici U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Calles C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Calles U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	emisiones por km privado= 180	ppm/km	Emisiones por kilómetro de transporte privado
Emisiones	emisiones por km TP= 200	ppm/km	Emisiones por kilómetro de transporte público
Emisiones	Est C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Est U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Metro C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Metro D emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Metro U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Peat C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	Peat U emi= 1	t/km/año	
Emisiones	VS C emi= 1	t/km/año	
Emisiones	VS U emi= 1	t/km/año	
Expansion área	área por edificio= 0,5	ha/edificio	Área media cubierta por edificios
Expansion área	costo anual constr por ha= 1 000	CLP/ha/año	
Expansion área	precio ha normal= 1 000	CLP/ha	
Expansion área	precio venta ha= 1 000	CLP/ha	Precio de venta de terrenos
Gastos transporte	TA cambio percepción gasto transporte= 1	año	Demora de la percepción

(continúa)

## Anexo 1 (continuación)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Gastos transporte	tarifa TP= 400	CLP/viaje	Tarifa de un pasaje típico
Metro	Metro demora constr= 5	año	Tiempo necesario para la construcción
Metro	Metro demora dem= 3	año	Tiempo necesario para la demolición
Metro	Metro deseado= 50	km	Longitud deseada del metro
Metro	Metro TA= 1	año	
Metro	Metro vida útil= 30	año	Vida útil del metro
Modos de transporte	atractivo TP normal= 0,2	Dmnl	Atractivo normal del transporte público
Modos de transporte	autos por ha= 200	autos/ha	Cantidad de autos que estacionan por ha
Modos de transporte	cobro tránsito por km= 0	CLP/km	Cobro por uso de calles
Modos de transporte	Consumo carburante por km = 0,1	ltr/km	Litros de carburante consumidos por km conducido
Modos de transporte	costo carburante por ltr= 680	CLP/ltr	Precio de carburante por litro
Modos de transporte	ha por km de red TP= 1	ha/km	Área cubierta por km de red de transporte público
Modos de transporte	paraderos TP= 1 000	paraderos	Cantidad de paraderos
Modos de transporte	tarifa TP= 400	CLP/viaje	Tarifa de un pasaje típico
Modos de transporte	vel peatón= 4	km/hora	
Modos de transporte	velocidad privada normal= 19	km/hora	Velocidad media normal en transporte privado
Modos de transporte	velocidad TP normal= 15	km/hora	Velocidad media normal del transporte público
Modos de transporte	viajes por persona= 700	Viajes/ persona/año	Cobro por uso de calles
Población	motorización 1= 0,1	autos/persona	Tasa de motorización del primer estrato
Población	motorización 2= 0,3	autos/persona	Tasa de motorización del segundo estrato
Población	motorización 3= 0,8	autos/persona	Tasa de motorización del tercer estrato
Población	tasa ascenso 12 normal= 0,01	Dmnl	Porcentaje de la población del primer estrato que se traslada normalmente al segundo estrato
Población	tasa ascenso 23 normal= 0,01	Dmnl	Porcentaje de la población del segundo estrato que se traslada normalmente al tercer estrato
Población	tasa regeneración 1= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del primer estrato
Población	tasa regeneración 2= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del segundo estrato
Población	tasa regeneración 3= 0,01	Dmnl	Natalidad neta del tercer estrato
Población	umbral ingreso 12= 2,5e+006	CLP/año	Ingreso superior al cual se pertenece al segundo estrato
Población	umbral ingreso 23= 1,2e+007	CLP/año	Ingreso superior al cual se pertenece al tercer estrato
Puestos	puestos constr por ha= 2	puestos/ha	
Puestos	puestos constr por km= 1	puestos/km	
Uso del suelo	ancho APU= 16	m	Ancho medio de las autopistas urbanas
Uso del suelo	ancho B= 3	m	Ancho medio de una ciclovía
Uso del suelo	ancho calle= 12	m	Ancho medio de calles simples
Uso del suelo	ancho P= 2	m	Ancho medio de las instalaciones para peatones
Uso del suelo	ancho VS= 8	m	Ancho medio de una vía segregada
Uso del suelo	área ciudad= 60 000	ha	
Uso del suelo	D aplic= 1	año	Se usa para convertir los km de las decisiones en km/año
Uso del suelo	D c B= 1	año	Tiempo de construcción de ciclovías
Uso del suelo	D c C= 1	año	

(continúa)



## Anexo 2 (continuación)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Uso del suelo	D c Ed= 2	año	
Uso del suelo	D C en APU= 2	año	Tiempo de transformación de calle en autopista urbana
Uso del suelo	D c Est= 1	año	Tiempo de construcción de estacionamientos
Uso del suelo	D c P= 1	año	
Uso del suelo	D c VS= 1	año	Tiempo de construcción de vías segregadas
Uso del suelo	D Edi en APU= 2	año	Tiempo necesario para demoler edificios y poner autopistas urbanas en su lugar
Uso del suelo	D Edi en E= 2	año	Tiempo de demolición de edificios y construcción de estacionamientos
Uso del suelo	E por dem a C= 0	ha	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles
Uso del suelo	P APU= 0,05	Dmnl	
Uso del suelo	P B= 0	Dmnl	
Uso del suelo	p Calles= 0,2	Dmnl	
Uso del suelo	p Edif= 0,5	Dmnl	
Uso del suelo	p Est= 0,05	Dmnl	
Uso del suelo	p P= 0,05	Dmnl	
Uso del suelo	p V= 0,1	Dmnl	
Uso del suelo	p VS= 0,05	Dmnl	
Vehículos	choferes por autobús= 1,01	Empleos/ autobuses	Superficie de estacionamientos demolidos que servirá para construcción de calles
Vehículos	vida útil autos [Vehículo Chico] = 4,10,8	año	Vida útil de automóviles
Vehículos	vida útil autobuses [Vehículo Grande]= 20,15,10	año	Vida útil media de un autobús
Viajes	accidentes por km P= 0	accidentes/km	Número típico de accidentes por km en transporte privado
Viajes	accidentes por km TP= 0	accidentes/km	Número típico de accidentes por km en transporte público
Viajes	presupuesto de tiempo diario = 1,5	horas/día	Tiempo máximo disponible para transporte, por día
Viajes	sensibilidad para no motorizado por estrato [Estratos]= 1	Dmnl	Predisposición de los estratos a trasladarse en bicicleta o a pie (y por lo tanto de responder a cambios en la infraestructura para peatones, bicicletas o ambos).
Viajes	Tasa crecimiento normal= 0,03	Dmnl	Tasa anual normal de crecimiento de los ingresos de cada estrato
Viajes	valor por accidente= 0	CLP/accidente	Valor medio de un accidente
Viajes	viajes día persona por estrato normal [Estratos]= 2	viajes/día/ persona	Cantidad de viajes de ida y vuelta por día, por persona, por estrato
Vehículos	vida útil autos [Vehículo Chico] = 4,10,8	año	Vida útil de automóviles
Vehículos	vida útil autobuses [Vehículo Grande]= 20,15,10	año	Vida útil media de un autobús
Viajes km	accidentes por km P= 0 Número típico de accidentes por km en transporte privado	accidentes/	
Viajes	accidentes por km TP= 0	accidentes/	

(continúa)

## Anexo 2 (conclusión)

Sector	Variable	Unidad	Comentario
km	Número típico de accidentes por km en transporte público		
Viajes	presupuesto de tiempo diario = 1,5	horas/día	Tiempo máximo disponible para transporte, por día
Viajes	sensibilidad para no motorizado por estrato [Estratos]= 1	Dmnl	Predisposición de los estratos a trasladarse en bicicleta o a pie (y por lo tanto de responder a cambios en la infraestructura para peatones, bicicletas o ambos).
Viajes	Tasa crecimiento normal= 0,03	Dmnl	Tasa anual normal de crecimiento de los ingresos de cada estrato
Viajes	valor por accidente= 0	CLP/accidente	Valor medio de un accidente
Viajes	viajes día persona por estrato normal [Estratos]= 2	viajes/día/ persona	Cantidad de viajes de ida y vuelta por día, por persona, por estrato

## Anexo 3: Table functions

Sector	Variable	Unidad	Comentario
Expansión área	efecto costo desarrollo tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 0,131579), (9,90826, 10))	Dmnl	Efecto de los costos de desarrollo en la exploración de áreas nuevas vírgenes
Expansión area	efecto densidad lookup $[(0,0)-(100000,3)]$ , (0, 0,0263158), (24770,6, 0,381579), (49235,5, 1,25), (74617,7, 2,44737), (99694,2, 2,96053))	****	
Modos transporte	ap costo privado tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 9,86842), (9,81651, 0,175439))	Dmnl	Forma de efectos del costo en el atractivo
Modos transporte	ap tarifa lookup $[(0,0)-(800,1)]$ , (4,89297, 0,991228), (198,165, 0,5), (396,33, 0,355263), (795,107, 0,25))	Dmnl	
Modos transporte	ap tiempo privado tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,030581, 9,82456), (9,87768, 0,175439))	Dmnl	Forma de efectos del tiempo en el atractivo
Modos transporte	ap tiempo TP tf $[(0,0)-(3,1)]$ , (0,00611621, 0,991228), (1,00917, 0,495614), (1,99388, 0,337719), (2,97248, 0,22807))	Dmnl	
Modos transporte	efecto cobertura TP $[(0,0)-(1,1)]$ , (0,0), (0,244648, 0,0964912), (0,749235, 0,407895), (1, 0,5))	Dmnl	
Modos transporte	efecto vel priv tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,030581, 9,82456), (9,81651, 0,263158))	Dmnl	Forma de efectos de la razón entre demanda y oferta en la velocidad
Modos transporte	efecto vel TP tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,030581, 8,72807), (9,87768, 1,05263))	Dmnl	Forma de efectos de la relación entre demanda y oferta en la velocidad media
Modos transporte	ep lookup $[(0,0)-(5000,1)]$ , (0,0), (5000,1))	Dmnl	
Modos transporte	frecuencia fr $[(0,0)-(10,10)]$ , (0, 6,09649), (9,87768, 3,28947))	Dmnl	Forma de efectos de la extensión de la red en la frecuencia de los autobuses
Modos transporte	sat est tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 0,0877193), (9,96942, 9,25439))	Dmnl	Forma de efectos de la saturación de estacionamientos en el tiempo de búsqueda
Población	ascenso 12 tf $[(0,0)-(1,1)]$ , (0,0030581, 0,00877193), (0,993884, 0,995614))	Dmnl	Efectos de la razón en la tasa de ascenso
Población	ascenso 23 tf $[(0,0)-(1,1)]$ , (0, 0,00438596), (0,993884, 0,991228))	Dmnl	Efectos de la razón en la tasa de ascenso
Viajes	efecto atractividad tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 0,175439), (9,90826, 9,82456))	Dmnl	Efectos del atractivo relativo del TP en este servicio
Viajes	efecto cambio gastos tf $[(0,0)-(10,1)]$ , (0,0611621, 0,0438596), (9,93884, 0,97807))	Dmnl	Efecto de cambios de percepción de gastos en el crecimiento de los ingresos
Viajes	efecto condiciones distancia tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 0,219298), (9,87768, 9,91228))	Dmnl	Efecto de condiciones percibidas en distancia de viajes privados
Viajes	efecto condiciones viajes tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0917431, 0,263158), (9,84709, 9,7807))	Dmnl	Efecto en cantidad de viajes diarios de las condiciones percibidas
Viajes	efecto densidad tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0, 0,263158), (9,90826, 9,69298))	Dmnl	Efectos de la densidad en la distancia por viaje
Viajes	efecto porcentaje para no motorizado tf $[(0,0)-(10,10)]$ , (0,0611621, 0,131579), (9,93884, 10))	Dmnl	Efectos en modo no motorizado de las condiciones viales de este



Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)  
Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC)  
[www.cepal.org](http://www.cepal.org)